



**TUGAS AKHIR - RE 141581**

# **PERENCANAAN RAINWATER HARVESTING DAN PENGOLAHAN AIR LIMBAH DI PONDOK PESANTREN MAMBAUL ULUM BATA-BATA PAMEKASAN**

**FADLILATIN NAILAH**  
**3313 100 087**

**Dosen Pembimbing:**  
**Dr. ALI MASDUQI,ST.,MT.**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN**  
**Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya 2018**





**TUGAS AKHIR - RE 141581**

**PERENCANAAN RAINWATER HARVESTING DAN  
PENGOLAHAN AIR LIMBAH DI PONDOK PESANTREN  
MAMBAUL ULUM BATA-BATA PAMEKASAN**

**FADLILATIN NAILAH**  
**3313 100 087**

Dosen Pembimbing  
**Dr. ALI MASDUQI,ST.,MT.**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN**  
**Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumian**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya 2018**





**FINAL PROJECT - RE 141581**

**DESIGN OF RAINWATER HARVESTING AND  
WASTEWATER TREATMENT IN ISLAMIC BOARDING  
SCHOOL MAMBAUL ULUM BATA-BATA PAMEKASAN**

**FADLILATIN NAILAH  
3313 100 087**

**SUPERVISOR  
Dr. ALI MASDUQI,ST.,MT.**

**DEPARTEMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
Faculty of Civil, Environment, and Geo Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018**



## LEMBAR PENGESAHAN

### PERENCANAAN RAINWATER HARVESTING DAN PENGOLAHAN AIR LIMBAH DI PONDOK PESANTREN MAMBAUL ULUM BATA-BATA PAMEKASAN

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh  
**FADLILATIN NAILAH**  
NRP. 3313 100 087

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

  
**Dr. ALI MASDUQI, ST., MT.**

NIP. 19680128 199403 1 003

**SURABAYA, JANUARI 2018**







# **Perencanaan Rainwater Harvesting dan Pengolahan Air Limbah Di Pondok Pesantren Mambaul Ulum Bata-Bata Pamekasan**

Nama Mahasiswa : Fadlilatin Nailah  
NRP : 3313 100 087  
Departemen : Teknik Lingkungan  
Dosen Pembimbing : Dr. Ali Masduqi, ST.,MT.

## **ABSTRAK**

Pondok pesantren Mambaul Ulum terletak di Dusun Bata-Bata, Desa Panaan, Kecamatan Palengaan, Kabupaten Pamekasan. Pondok pesantren Mambaul Ulum Bata-Bata (MUBA) memiliki luas wilayah sebesar  $\pm 10$  ha dan jumlah santri pada tahun 2016 sebanyak 10.216 orang. Banyaknya jumlah santri menyebabkan tingginya kebutuhan air bersih dan produksi air limbah. Permasalahan yang sering dihadapi adalah kurangnya pasokan air bersih pada musim kemarau dan belum adanya pengolahan terhadap air limbah. Sehingga air limbah langsung dibuang ke sungai. Oleh karena itu, direncanakan adanya rainwater harvesting dan pengolahan air limbah yang dilengkapi dengan analisis kelayakan ekonominya.

Perencanaan ini dimulai dengan adanya studi literatur. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data baik primer maupun sekunder. Data yang didapat selanjutnya diolah dan dianalisis untuk menunjang perencanaan rainwater harvesting dan pengolahan air limbah.

Perencanaan ini dibagi menjadi dua blok utama, yaitu di pondok putra dan pondok putri. Di pondok putri, didapat

perhitungan perencanaan *rainwater harvesting* dengan kapasitas 347,76 m<sup>3</sup> dan 469,52 m<sup>3</sup> di pondok putra. Sementara itu, pengolahan limbah dengan menggunakan Anaerobic Baffled Reactor (ABR) di pondok putri ABR dengan 4 kompartemen dengan dimensi total sebesar 21,2 x 4,3 x 4,3 m. Sedangkan di pondok putra direncanakan ABR dengan 3 kompartemen dan dimensi total sebesar 23,43 x 4,3 x 3,8 m. Berdasarkan analisis kelayakan ekonomi dengan *Net Present Value* (NPV) dan *Benefit and Cost Ratio* (BCR), perencanaan ini memenuhi syarat sehingga layak untuk diaplikasikan.

**Kata kunci:** *rainwater harvesting*, air limbah, *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR), *Net Present Value*, *Benefit and Cost Ratio*, pondok pesantren Mambaul Ulum Bata-Bata

**Design of Rainwater Harvesting and Wastewater  
Treatment In Islamic Boarding School Mambaul Ulum  
Bata-Bata Pamekasan**

Name : Fadlilatin Nailah  
NRP : 3313 100 087  
Departement : Teknik Lingkungan  
Supervisor : Dr. Ali Masduqi, ST.,MT.

**ABSTRACT**

Islamic Boarding School Mambaul Ulum is located in Bata-Bata, Panaan Village, Palengaan District, Pamekasan. Mambaul Ulum Bata-Bata (MUBA) has the total area is for about 10 ha and the total of the students at 2016 are 10216 people. Many students in this islamic boarding school cause the high necessary of clean water and wastewater generation. The problems that often happens is the lack of clean water supply when the dry seasons comes and there is no waste water treatment there. So that waste water is thrown to the river directly. Because of that, designed existance of rainwater harvesting and waste water treatment plant which is completed by economic feasibility analysist.

This design begins with a literatur study. Then collecting the data both primary and secondary data. After that, the collected data will be analyzed to support this design of rainwater harvesting and waste water treatment plant.

This design is divided into two main blocks, namely in the man and women boarding house. In the women boarding house,

obtained by calculation of rainwater harvesting planning with capacity 347,76 m<sup>3</sup> and 469,52 m<sup>3</sup> in man boarding house. Meanwhile, waste water treatment using Anaerobic Baffled Reactor (ABR). The ABR in the women boarding house have 4 compartments with a total dimension of 21.2 x 4.3 x 4.3 m. While in the men boarding house designed ABR with 3 compartments and the total dimensions of 23.43 x 4.3 x 3.8 m. Based on the economic feasibility analysis with Net Present Value (NPV) and Benefit and Cost Ratio (BCR), this design is eligible so it is feasible to apply.

**Keywords:** rainwater harvesting, Anaerobic Baffled Reactor (ABR), Net Present Value (NPV), Benefit and Cost Ratio (BCR), Islamic boarding School Mambaul Ulum Bata-Bata.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “ Perencanaan Rainwater Harvesting dan Pengolahan Air Limbah di Pondok Pesantren Mambaul Ulum Bata-bata Pamekasan” tepat pada waktunya. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana di Departemen Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Rasa terima kasih yang tidak terkira penulis sampaikan kepada beberapa pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini, khususnya kepada :

1. Bapak Dr.Ali Masduqi,ST.,MT., selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu dan tenaga dalam membimbing penulis selama penyusunan tugas akhir ini.
2. Bapak Bowo Djoko Marsono,M.Eng., Ibu Alia Damayanti,ST.,MT.,PhD., Prof. Wahyono Hadi,M.Sc., Bapak Arie Diparezi Syafei, dan Bapak Alfan Purnomo,ST.,MT., selaku dosen pengarah yang telah banyak memberikan arahan dan bimbingannya kepada penulis.
3. Bapak/Ibu Dosen Departemen Teknik Lingkungan ITS yang telah membekali penulis dengan berbagai disiplin ilmu yang berguna.
4. Ibu Dr. Harmin Sulistiyaning Titah dan karyawan bagian administrasi Departemen Teknik Lingkungan yang telah banyak membantu perihal pembuatan surat izin dan sidang seminar atau sidang Tugas Akhir.
5. Ustadz Khusairi,S.Pd.I selaku ketua Dewan Ma'hadiyah pondok pesantren MUBA yang telah banyak membantu memberikan informasi dan data yang diperlukan penulis untuk kepentingan tugas akhir ini.
6. Ayah,Ibu,dan keluarga di rumah yang tidak berhenti mendoakan dan memberikan dukungan penuh kepada penulis

7. Bimo Teguh Yuwono, Afifah Raudloh Anni'mah, Dewi Retno, Silvi Fauziah, Septian Setyo, Yuridna Afifah, Dorlinca Simamora, Marissa Olivia, Pratama Heru, Widi Arsono, Parama Mahardika, Carissa Yumna, Vanny Widiyanti, Cipat Anugerah dan teman-teman angkatan 2013 Teknik Lingkungan ITS yang memberikan dukungan dan doa kepada penulis.

Penulis menyadari Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun akan diterima dengan senang hati. Dengan adanya Tugas Akhir ini penulis berharap semoga dapat memberikan manfaat serta menambah wawasan pembaca.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan.....	5
1.4 Ruang Lingkup.....	5
1.5 Manfaat.....	6
BAB 2 GAMBARAN UMUM DAERAH PERENCANAAN.....	7
2.1 Luas, Administrasi, dan Informasi Wilayah.....	7
2.2 Jumlah Civitas Akademik Pondok Pesantren Mambaul Ulum Bata-Bata.....	8
2.3 Jaringan Air Bersih dan Air Limbah.....	9
BAB 3 TINJAUAN PUSTAKA .....	11
3.1 Baku Mutu Air.....	11
3.2 Hidrologi.....	12
3.2.1 Menghitung Hujan Rata-rata pada Suatu Kawasan ( <i>Catchment Area</i> ).....	13
	vii

3.2.2.	Perhitungan Cadangan Air Tanah.....	15
3.2.3	Kualitas Air Hujan.....	16
3.2.4	Metode Pengolahan Air Hujan Sederhana.....	17
3.3	<i>Rainwater Harvesting System</i> .....	18
3.3.1	Perhitungan <i>Rainwater Harvesting System</i> .....	19
3.3.2	Keunggulan <i>Rainwater Harvesting System</i> .....	21
3.4	Filtrasi.....	22
3.4.1	Modifikasi Filtrasi Sederhana.....	25
3.5	Reservoir.....	28
3.6	Air Limbah.....	29
3.6	Pengolahan Air Limbah.....	31
3.7	Pengolahan Anaerobik.....	32
3.8	<i>Anaerobic Baffled Reactor (ABR)</i> .....	33
3.9	Digester.....	35
3.10	Hidrolika Saluran Tertutup Dan Terbuka.....	37
3.11	Pompa.....	40
BAB 4 METODOLOGI PERENCANAAN .....		43
4.1	Kerangka Perencanaan.....	43
4.2	Uraian Tahapan Kegiatan Perencanaan.....	43
BAB 5 PERENCANAAN <i>RAINWATER HARVESTING</i> DAN PENGOLAHAN AIR LIMBAH .....		49
5.1	PERENCANAAN <i>RAINWATER HARVESTING</i> .....	49



5.2 PERENCANAAN PENGOLAHAN AIR LIMBAH.....	66
5.3 ANALISIS <i>BILL OF QUANTITY</i> (BOQ) DAN RENCANA ANGGARAN BIAYA (RAB).....	96
5.3.1 Analisis BOQ RAB <i>Rainwater Harvesting</i> .....	96
5.3.2 Analisis BOQ dan RAB pengolahan air limbah.....	100
5.3.2.1 Pekerjaan Galian Tanah.....	101
5.3.2.2 Pekerjaan Urugan Pasir.....	101
5.3.3.3 Pekerjaan Beton Lantai Kerja.....	102
5.3.3.4 Pekerjaan Urugan Tanah.....	102
5.3.3.5 Pekerjaan Tanah Buangan.....	103
5.3.3.6 Pekerjaan Beton Lantai ABR.....	103
5.3.3.7 Pekerjaan Beton Spesi Dinding.....	103
5.3.3.8 Pekerjaan Beton Atap ABR.....	104
5.3.3.9 Pekerjaan Pembesian.....	104
5.3.2.3 Pekerjaan Galian Tanah.....	106
5.3.2.4 Pekerjaan Urugan Pasir.....	106
5.3.3.10 Pekerjaan Beton Lantai Kerja.....	107
5.3.3.11 Pekerjaan Urugan Tanah.....	107
5.3.3.12 Pekerjaan Tanah Buangan.....	108
5.3.3.13 Pekerjaan Beton Lantai ABR.....	108
5.3.3.14 Pekerjaan Beton Spesi Dinding.....	109
5.3.3.15 Pekerjaan Beton Atap ABR.....	109
5.3.3.16 Pekerjaan Pembesian.....	110

5.4	ANALISIS KELAYAKAN EKONOMI.....	114
BAB 6 KESIMPULAN .....		117
6.1	Kesimpulan.....	117
6.2	Saran.....	118
DAFTAR PUSTAKA .....		121
LAMPIRAN .....		127

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perkembangan Santri Pondok Pesantren Mambaul Ulum Bata-Bata dari tahun 2007-2016 .....	8
Tabel 3.2 Nilai Koefisien <i>Run off</i> .....	20
Tabel 3.3 Perbedaan <i>rapid sand filter</i> dan <i>slow sand filter</i> .....	22
Tabel 3.4 Kriteria Desain Media Filter .....	24
Tabel 5.1 Hasil Analisis Air Hujan .....	49
Tabel 5.2 <i>Catchment area</i> dari setiap blok .....	53
Tabel 5.3 Volume Air yang Dapat Diterima per Tahun .....	60
Tabel 5.4 Kapasitas tangki penampung air hujan.....	61
Tabel 5.5 <i>Headloss</i> saluran pondok putri .....	64
Tabel 5.6 Diameter pipa air hujan yang digunakan di pondok putri .....	64
Tabel 5.7 <i>Headloss</i> saluran pada pondok putra .....	65
Tabel 5.8 Diameter pipa yang digunakan di pondok putra .....	65
Tabel 5.9 Hasil perhitungan debit berdasarkan jumlah penghuni .....	68
Tabel 5.10 Kriteria Desain ABR.....	69
Tabel 5.11 Karakteristik effluen air limbah di kompartemen 1 ....	72
Tabel 5.12 <i>Mass balance</i> di kompartemen 1 .....	72
Tabel 5.13 Karakteristik effluen air limbah di kompartemen 1 ....	85
Tabel 5.14 <i>Mass balance</i> di kompartemen 1 .....	85
Tabel 5.15 Analisis BOQ dan RAB reservoir pondok putri .....	98
Tabel 5.16 Analisis BOQ dan RAB reservoir pondok putra .....	99

Tabel 5.17 Analisis RAB ABR pondok putri .....	112
Tabel 5.18 Analisis RAB ABR pondok putra.....	113
Tabel 5.19 Manfaat yang diperoleh dengan adanya perencanaan .....	115
Tabel 5.20 Analisis NPV .....	115
Tabel 5.21 Analisis BCR.....	116

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kompleks Pondok Pesantren Mambaul Ulum Bata- Bata.....	7
Gambar 3.1 Siklus Hidrologi.....	12
Gambar 3.2 Catchment Area dengan cara Polygon Thiessen ...	13
Gambar 3.3 Catchment Area dengan Cara Isohyet .....	15
Gambar 3.4 Rooftop Rainwater Harvesting.....	19
Gambar 3.5 Desain <i>Rapid Sand Filter</i> .....	25
Gambar 3.6 Rancangan Filtrasi Termodifikasi .....	27
Gambar 3.7 Skema pengelompokan bahan yang terkandung di dalam air limbah.....	30
Gambar 3.8 Digester <i>Floating Drum</i> .....	36
Gambar 3.9 Digester <i>Fixed Dome</i> .....	36
Gambar 3.10 Digester Tipe Balon .....	37
Gambar 4.1 Diagram Kerangka Perencanaan .....	45
Gambar 5.1 Miniatur Pondok Pesantren Mambaul Ulum Bata- Bata Pamekasan.....	51
Gambar 5.2 efisiensi penyisihan berdasarkan kadar BOD dan TSS.....	71

Gambar 5.3 Produksi lumpur berdasarkan <i>Hidraulyc Retention Time</i> .....	73
Gambar 5.4 Grafik <i>Organic Loading</i> terhadap faktor BOD removal .....	78
Gambar 5.5 Grafik kadar BOD influen dengan faktor BOD removal .....	79
Gambar 5.6 Grafik suhu dengan faktor BOD removal .....	79
Gambar 5.7 Grafik antara jumlah kompartemen dengan faktor BOD removal.....	80
Gambar 5.8 Grafik antara HRT dengan faktor BOD removal .....	80
Gambar 5.9 Grafik antara efisiensi removal BOD dan efisiensi removal COD .....	81
Gambar 5. 10 Grafik persen removal antara waktu detensi terhadap TSS .....	82
Gambar 5.11 efisiensi penyisihan berdasarkan kadar BOD dan TSS .....	84
Gambar 5.12 Produksi lumpur berdasarkan <i>Hidraulyc Retention Time</i> .....	86
Gambar 5.13 Grafik <i>Organic Loading</i> terhadap faktor BOD removal .....	91
Gambar 5.14 Grafik kadar BOD influen dengan faktor BOD removal .....	91
Gambar 5.15 Grafik suhu dengan faktor BOD removal .....	92
Gambar 5.16 Grafik antara jumlah kompartemen dengan faktor BOD removal.....	93

Gambar 5.17 Grafik antara HRT dengan faktor BOD removal ...	93
Gambar 5.18 Grafik antara efisiensi removal BOD dan efisiensi removal COD .....	94
Gambar 5. 19 Grafik persen removal antara waktu detensi terhadap TSS .....	95

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pondok pesantren Mambaul Ulum terletak di Dusun Bata-Bata, Desa Panaan, Kecamatan Palengaan, Kabupaten Pamekasan. Pondok pesantren ini merupakan salah satu pondok pesantren terbesar di Kabupaten Pamekasan. Pondok pesantren Mambaul Ulum Bata-Bata (MUBA) memiliki luas wilayah sebesar  $\pm 10$  ha. Pondok pesantren MUBA memiliki beberapa jenjang pendidikan, mulai dari pondok kecil (khusus anak berumur 3-12 tahun), MTs, MA, dan SMK. Pada tahun 2016, jumlah santri di pondok pesantren MUBA sebanyak 10.216 orang. Sebagian besar santri merupakan masyarakat pendatang dari berbagai penjuru tanah air (Dewan Ma'hadiyah pondok pesantren MUBA, 2016)

Banyaknya jumlah santri menyebabkan kebutuhan air bersih yang tinggi di pondok pesantren MUBA. Selama ini pasokan air bersih yang digunakan berasal dari sumber mata air Kapt. Blumbungan dan Sumber Cangkreng. Menurut data dari Dinas Pengairan Kabupaten Pamekasan tahun 2014 menyatakan bahwa debit yang dihasilkan oleh sumber Kapt. Blumbungan sebesar 28 L/detik dan Sumber Cangkreng sebesar 33 L/detik terbilang cukup. Di sisi lain, dua sumber mata air ini juga memasok air bersih untuk wilayah Kecamatan Palengaan lainnya. Kondisi yang demikian menyebabkan kurangnya pasokan air bersih saat musim kemarau tiba. Hal ini disebabkan karena

menurunnya debit sumber mata air yang digunakan untuk pemasok air bersih ke lingkungan pesantren.

Di beberapa negara berkembang yang sering mengalami kekeringan saat musim kemarau, dilakukan beberapa upaya untuk mengatasi krisis air. Di Nigeria, krisis air diatasi dengan melakukan *rainwater harvesting* pada setiap rumah dengan mengandalkan konstruksi atap yang dilengkapi talang air hujan (Otti, 2013). Sebanyak 95% rumah di wilayah Katpadi, Tamil Nadu, India juga sudah menerapkan *rainwater harvesting* dengan *Rooftop Harvesting System* (RTHS). Suplai air dengan RTHS didapat dari perkalian antara luas atap rumah, curah hujan dan nilai koefisien *run off* (Jain et al., 2015). *Rainwater harvesting* tidak hanya diterapkan di wilayah pemukiman penduduk namun juga diterapkan di kompleks pendidikan. Misalnya di SSVP Sanstha, Vidyanagari, Dhule, India. Kompleks kampus ini menggunakan *rainwater harvesting* untuk menyuplai kebutuhan air bersih. Hal ini dilakukan juga untuk konservasi air tanah yang semakin menipis (Dwivedi et al., 2013).

Oluruntade dan Oguntunde (2009) menyatakan bahwa *rainwater harvesting* merupakan salah satu alternatif yang tepat untuk mengatasi kekeringan dan menurunnya muka air tanah. Kondisi iklim yang tidak menentu juga menjadi faktor penting untuk menggunakan air hujan seefisien mungkin. Menerapkan *rainwater harvesting* juga akan sangat bermanfaat daripada hanya membiarkannya mengalir ataupun menguap.

Alternatif penggunaan *rainwater harvesting* sesuai untuk diterapkan di wilayah pondok pesantren MUBA. Hal ini dikarenakan curah hujan di wilayah Kecamatan Palengaan cukup tinggi yaitu sebesar 1771 mm/detik dengan hari hujan sebesar 108 mm/detik (Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Pamekasan, 2014). Konstruksi bangunan pesantren baik sekolah maupun asrama juga sudah dilengkapi dengan talang air hujan. Selain itu, menurut Casali et al. (2010), air hujan memiliki kualitas

yang baik dengan TSS 0,87-8,09 sehingga mudah dalam pengolahannya.

Sementara itu, air limbah yang dihasilkan dari kegiatan santri di pondok pesantren MUBA juga belum diolah dengan baik. Selama ini limbah tersebut langsung dibuang ke badan air. Menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur No.72 tahun 2013 menyatakan bahwa air limbah adalah sisa dari suatu usaha dan/atau kegiatan yang berwujud cair yang dibuang ke lingkungan yang dapat menurunkan kualitas lingkungan. Banyaknya air limbah yang dibuang ke badan air akan menyebabkan pencemaran air (Tato, 2004).

Limbah domestik mengandung sampah padat dan cair yang berasal dari limbah rumah tangga dengan beberapa sifat utama yaitu : mengandung bakteri, mengandung bahan organik dan padatan tersuspensi sehingga BOD (*Biological Oxygen Demand*) biasanya tinggi, padatan organik dan anorganik yang mengendap di dasar perairan menyebabkab oksigen terlarut (DO) rendah, dan mengandung bahan terapung dalam bentuk suspensi sehingga mengurangi kenyamanan dan menghambat laju fotosintesis (Suhartono, 2009).

ABR merupakan salah satu jenis pengolahan *suspended growth* yang memanfaatkan sekat (*baffle*) dalam pengadukan yang bertujuan memungkinkan terjadinya kontak antara air limbah dan biomass. Pengolahan ini adalah pengolahan yang murah dari segi operasional, sebab tidak diperlukan penggunaan energi listrik, dan memiliki efisiensi removal organik yang cukup baik. Namun berdasarkan penelitian Purwanto (2008), ABR memiliki efisiensi removal *suspended solid* yang kurang baik, yaitu berkisar antara 40-70%. Zat padat dengan densitas yang mendekati densitas air dapat terbawa keluar dari kompartemen pertama dan terbawa keluar reaktor bersama dengan efluen. Oleh karena itu, kemampuan

mengolah zat padat bergantung pada batas pemberian makan (*feed line*) atau kompartemen pertama. Hal ini dapat pula diatasi dengan penambahan unit yang dapat membantu pemisahan zat padat (Foxon et al, 2004). Sementara, meskipun memiliki kelemahan dalam segi pemeliharaan, *Anaerobic Filter* merupakan salah jenis pengolahan *attached growth* yang dapat menurunkan kadar *suspended solid* dengan baik. Dalam Indriani (2010), dilakukan kombinasi antara ABR dan AF untuk memperoleh efisiensi optimum.

Dalam perencanaan ini, air yang tertampung dalam penampung air hujan diuji terlebih dahulu dengan tujuan apakah membutuhkan pengolahan lebih lanjut atau tidak. Sedangkan air limbah diuji terlebih dahulu untuk mengetahui efektivitas penyisihan polutan yang terkandung didalamnya. Pemilihan unit pengolahan yang tepat dan efisien diharapkan dapat memenuhi kebutuhan pasokan air bersih dan menurunkan pencemaran lingkungan serta meningkatkan kesehatan santri pondok pesantren MUBA Pamekasan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah yang mendasari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana kualitas dan kuantitas air hujan dan air limbah di pondok pesantren MUBA Pamekasan?
2. Bagaimana desain unit pengolahan *rainwater harvesting* dan unit pengolahan air limbah di pondok pesantren MUBA Pamekasan?
3. Bagaimana *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) dari unit pengolahan *rainwater harvesting* dan unit pengolahan air limbah di pondok pesantren MUBA Pamekasan?
4. Bagaimana kelayakan ekonomi unit pengolahan *rainwater harvesting* dan unit pengolahan air limbah di pondok pesantren MUBA Pamekasan?

### 1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis kualitas dan kuantitas air hujan dan air limbah di pondok pesantren MUBA Pamekasan.
2. Merencanakan desain unit pengolahan *rainwater harvesting* dan unit pengolahan air limbah di pondok pesantren MUBA Pamekasan.
3. Menghitung *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) dari unit pengolahan *rainwater harvesting* dan unit pengolahan air limbah di pondok pesantren MUBA Pamekasan.
4. Menganalisis kelayakan ekonomi unit pengolahan *rainwater harvesting* dan unit pengolahan air limbah di pondok pesantren MUBA Pamekasan.

### 1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup yang digunakan pada penelitian ini meliputi :

1. Wilayah studi yang akan direncanakan adalah wilayah pondok pesantren MUBA Pamekasan.
2. Aspek yang akan ditinjau pada perencanaan ini meliputi aspek teknis dan aspek finansial.
3. Standar yang digunakan dalam analisa kualitas dan kuantitas air baku pengolahan adalah PP No. 82 tahun 2001 dan baku mutu air limbah yang digunakan mengacu pada Permen LHK No.68 Tahun 2016
4. Parameter kualitas air yang digunakan menggunakan parameter fisik, kimia dan biologis yang mengacu pada PERMENKES No.492 tahun 2010. Parameter fisik meliputi kekeruhan dan suhu. Parameter kimia meliputi kesadahan dan pH. Parameter biologis meliputi jumlah *E.Coli* dan *Total Coli*.
5. Sumber air baku yang digunakan berasal dari air hujan yang ditampung di unit *rainwater harvesting*, sementara limbah yang diolah berupa *grey water* limbah domestik pompa MUBA

6. Perencanaan teknis meliputi :
  - a. Penentuan zona pengembangan unit bangunan *rainwater harvesting* dan unit pengolahan air limbah.
  - b. Penentuan dan perhitungan unit-unit bangunan pengolahan tanpa memerhatikan struktur dan konstruksi.
  - c. Gambar *Detailed Engineering Design* (DED).
  - d. Profil hidrolik unit pengolahan *rainwater harvesting* dan unit pengolahan air limbah.
  - e. *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB).
  - f. Biaya operasi dan pemeliharaan unit bangunan *rainwater harvesting* dan unit pengolahan air limbah.

### **1.5 Manfaat**

Hasil dari perencanaan ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa :

1. Memberikan rekomendasi kepada pihak pondok pesantren MUBA dalam segi ekonomis dalam penyediaan air bersih di pondok pesantren MUBA khususnya saat musim kemarau.
2. Memanfaatkan sumber air yang ada sebagai alternatif pasokan air bersih pada musim kemarau.
3. Memberikan referensi dalam perencanaan dan pemanfaatan *rainwater harvesting*
4. Air limbah terolah aman dibuang ke lingkungan dan dapat dimanfaatkan untuk air siram tanaman.

## BAB 2

### GAMBARAN UMUM DAERAH PERENCANAAN

#### 2.1 Luas, Administrasi, dan Informasi Wilayah

Pondok pesantren Mambaul Ulum terletak di Dusun Bata-Bata, Desa Panaan, Kecamatan Palengaan, Kabupaten Pamekasan. Pondok pesantren ini merupakan salah satu pondok pesantren terbesar di Kabupaten Pamekasan. Pondok pesantren Mambaul Ulum Bata-Bata (MUBA) memiliki luas wilayah sebesar  $\pm 10$  ha. Adapun batas wilayah pesantren sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.1 sebagai berikut :

- |            |                        |
|------------|------------------------|
| 1. Barat   | = Areal Persawahan     |
| 2. Timur   | = Areal Persawahan     |
| 3. Selatan | = Areal Persawahan     |
| 4. Utara   | = Jalan Raya Palengaan |



**Gambar 2.1 Kompleks Pondok Pesantren Mambaul Ulum Bata-Bata**

Sumber : *google satellite*

Perencanaan *rainwater harvesting* dan instalasi pengolahan air bersih ini memiliki area pelayanan yaitu area akademik pondok pesantren MUBA, asrama santri yang meliputi pondok kecil, putra, dan putri, serta fasilitas penunjang akademik lainnya.

## 2.2 Jumlah Civitas Akademik Pondok Pesantren Mambaul Ulum Bata-Bata

Civitas akademik Pondok Pesantren Mambaul Ulum Bata-bata terdiri dari santri dan tenaga pendidik. Berdasarkan data dari Dewan ma'hadiyah pondok pesantren MUBA tahun 2016, jumlah santri terdiri dari santri putra dan putri dari semua jenjang pendidikan berjumlah 10.216 orang. Data jumlah santri dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1 Perkembangan Santri Pondok Pesantren Mambaul Ulum Bata-Bata dari tahun 2007-2016**

No	Tahun	Uraian		Jumlah
		Putra	Putri	
1	2007	1035	955	1990
2	2008	1431	1317	2748
3	2009	1913	1438	3351
4	2010	2475	1579	4054
5	2011	3105	1689	4794
6	2012	3457	2242	5699
7	2013	3984	2610	6594
8	2014	4708	3155	7863
9	2015	5337	3779	9116
10	2016	5869	4347	10216

Sumber: Dewan Ma'hadiyah Pondok Pesantren MUBA, 2016



### **2.3 Jaringan Air Bersih dan Air Limbah**

Sumber air bersih di lingkungan pondok pesantren Mambaul Ulum Bata-Bata saat ini disuplai dari sumber air Kapt.Blumbungan dan sumber Cangkren. Sumber air yang memiliki debit 28 L/detik dan 33 L/detik ini juga menyuplai air untuk daerah Kecamatan Palengaan lainnya. Di pondok pesantren MUBA, air dari sumber ditampung dalam tandon bawah yang ada di setiap blok pesantren. Air tersebut kemudian dipompa ke tandon atas dan disalurkan dengan prinsip gravitasi.

Adapun air limbah yang dihasilkan di pondok pesantren MUBA saat ini hanya menggunakan tangki septik untuk *black water* dan belum ada pengolahan terhadap *grey water*. *Grey water* yang dihasilkan selama ini langsung dibuang ke badan air melalui selokan.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## **BAB 3**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **3.1 Baku Mutu Air**

Klasifikasi mutu air menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001, ditetapkan menjadi 4 (empat) kelas:

- a. Kelas satu, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
- b. Kelas dua, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
- c. Kelas tiga, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan air yang sama dengan kegunaan tersebut.
- d. Kelas empat, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi, pertanaman dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Air minum yang telah diolah dan akan dikonsumsi oleh masyarakat harus memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan pada PERMENKES No.492/PER/IV/2010.

Adapun baku mutu air limbah ditetapkan sesuai dengan jenis usaha/kegiatan. Pada perencanaan ini baku mutu air limbah disesuaikan dengan baku mutu air limbah domestik yang tertera pada Permen LHK No.68 Tahun 2016. Parameter-parameter yang terdapat pada standar baku mutu dapat dilihat pada Lampiran.

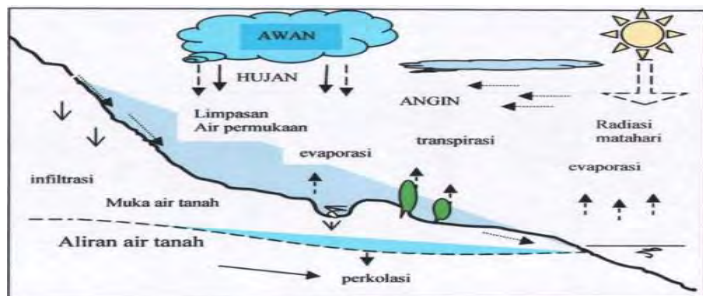
### 3.2 Hidrologi

Hidrologi adalah suatu ilmu pengetahuan yang mempelajari tentang kejadian, perputaran dan penyebaran air di atmosfer dan di permukaan bumi. Pergerakan air di bumi, secara umum dapat dinyatakan sebagai suatu rangkaian kejadian yang biasanya disebut dengan siklus hidrologi (Soewarno, 1991).

Menurut Wurjanto (2005), proses-proses yang terjadi dalam siklus hidrologi meliputi :

- Presipitasi
- Evapotranspirasi
- Infiltrasi dan perkolasi
- Limpasan permukaan (*surface run off*) dan aliran air tanah (*groundwater flow*).

Gambar 3.1 berikut ini menggambarkan proses-proses yang terjadi dalam siklus hidrologi.



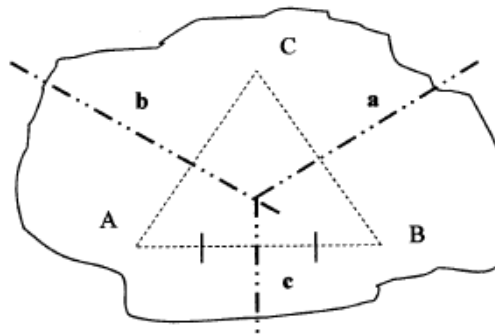
**Gambar 3.1 Siklus Hidrologi**

Sumber : Komariah, 2006

### 3.2.1 Menghitung Hujan Rata-rata pada Suatu Kawasan (*Catchment Area*)

Data hujan pada suatu kawasan yang diamati biasanya tersebar pada stasiun pengamatan hujan. Agar data-data hujan tersebut menjadi hujan wilayah (*regional rainfall*), maka dicari suatu nilai yang dapat mewakili yang disebut nilai rata-rata, dengan cara :

- a. Cara rata-rata aljabar  
Hujan kawasan dihitung dengan cara membuat rata-rata data hujan yang bersalah dari pos hujan yang ada dalam kawasan tersebut.
- b. Cara Polygon Thiessen  
Cara ini sering digunakan karena mudah diteliti. Cara ini dipakai untuk daerah dataran atau daerah pegunungan dengan jumlah stasiun pengamat hujan paling sedikit 3 buah sehingga dapat dibuat segitiga (poligon) seperti Gambar 3.2.



**Gambar 3.2 Catchment Area dengan cara Polygon Thiessen**

Sumber : Komariah, 2006

Keterangan :

A, B, dan C adalah stasiun pengamat hujan. Sedangkan garis a, b, dan c membagi sisi-sisi BC, AC, dan AB masing-masing pada bagian tengahnya sehingga untuk stasiun pengamat hujan A akan berpengaruh pada catchment area yang luasnya dibatasi oleh garis b, c, dan batas DAS. Begitu pula untuk stasiun B dan C.

Rumus untuk menghitung hujan rata-rata dengan pendekatan sebagai berikut :

$$\overline{R_H} = \frac{(H_A \times L_A) + (H_B \times L_B) + (H_C \times L_C)}{L_A + L_B + L_C} \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana :

$\overline{R_H}$  = hujan rata-rata

$H_A, H_B, H_C$  = hujan pada masing-masing stasiun A, B, dan C

$L_A, L_B, L_C$  = luas daerah yang dipengaruhi oleh stasiun A, B, dan C

$L_A + L_B + L_C$  = luas total daerah aliran (*catchment area*)

c. Cara Isohyet

Cara ini paling teliti tetapi dituntut curah hujan harus tersebar merata pada daerah aliran, dapat diterapkan pada daerah dataran atau pegunungan. Isohyet : garis yang menghubungkan curah hujan yang sama.

Rumus yang digunakan adalah :

$$P = \left( \left( \frac{A_1}{A_t} \times \frac{P_1 + P_2}{2} \right) + \left( \frac{A_2}{A_t} \times \frac{P_2 + P_3}{2} \right) + \dots + \left( \frac{A_n}{A_t} \times \frac{P_n + P_{n+1}}{2} \right) \right) \dots\dots\dots(3.2)$$

Dimana :

$P$  = tinggi hujan rata-rata (mm)

$P_1...P_n$  = tinggi hujan yang sama pada setiap garis isohyet (mm)

$A_1...A_n$  = luas yang dibatasi garis isohyet ( $\text{km}^2$ )

$A_t$  = Luas total DAS ( $\text{km}^2$ )

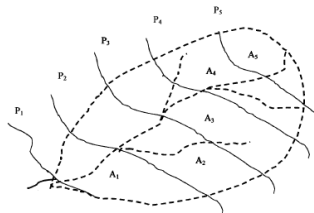
### 3.2.2.Perhitungan Cadangan Air Tanah

Cadangan air tanah dapat diperkirakan dengan memperoleh data sekunder utama berupa curah hujan dan data sumur pantau. Dari data yang telah diperoleh selanjutnya disubstitusikan ke dalam rumus-rumu sebagai berikut.

Recharge = curah hujan – evapotranspirasi – run off.....(3.3)

Evapotranspirasi =  $(0,146 \times \text{curah hujan}) + 1276$  .....(3.4)

Run off =  $(0,4 \times \text{curah hujan}) - 344$  .....(3.5)



**Gambar 3.3 Catchment Area dengan Cara Isohyet**

Sumber : Komariah, 2006

Recharge merupakan jumlah air yang masuk ke dalam tanah yang selanjutnya dijadikan hasil perkiraan cadangan air tanah. Recharge dapat dihitung dengan mengurangkan curah hujan dengan evapotranspirasi dan run off. Evapotranspirasi menggambarkan jumlah air yang hilang karena proses vegetasi tumbuhan. Run off merupakan air yang mengalir dipermukaan menuju sungai, danau, atau rawa. (Jati, 2016)

### 3.2.3 Kualitas Air Hujan

Kualitas air hujan tergantung dari kondisi cuaca atau kualitas udara serta dipengaruhi oleh bahan atau material penampungan serta waktu penyimpanan di dalam bak penampungannya. Air hujan yang baru turun umumnya memiliki pH yang agak rendah (asam). Hal ini disebabkan karena air hujan yang baru turun banyak melarutkan gas CO<sub>2</sub> atau gas SO<sub>2</sub> yang ada di atmosfer. Keasaman air hujan tergantung konsentrasi gas-gas tersebut. Jika ditampung dalam waktu yang agak lama biasanya pH air hujan akan naik mendekati normal. Pada Tabel 3.1 berikut, ditunjukkan kualitas air hujan di beberapa wilayah di Indonesia.

Tabel 3.1 Kualitas air hujan di beberapa wilayah di Indonesia

No.	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Depok	Semarang Tengah	Semarang Timur	Pandeglang	Keterangan
<b>A. FISIKA</b>								
1	Bau	-	Tdk berbau	Tdk berbau	Tdk berbau	Tdk berbau	Tdk berbau	SNI 01-3554-2006 (2.2)
2	Rasa	-	Normal	Tdk berasa	Tdk berasa	Tdk berasa	Tdk berasa	SNI 01-3554-2006 (2.2)
	Warna	Pt-Co	5	7	2,4	3	-	SNI 01-3554-2006 (2.2)
	Kekeruhan	NTU	1.5	14	1	0	0.65	SNI 01-3554-2006 (2.4)
	Zat Padat Terlarut (TDS)	mg/l	500	38	310	820	77	SNI 01-3554-2006 (2.5)
<b>B. KIMIA</b>								
1	pH (26 °C)	-	6,5-8,5	7,3	7	7	8	SNI 01-3554-2006 (2.3)
2	Zat Organik (KmnO <sub>4</sub> )	mg/l	1,0	11,0	-	-	8,2	SNI 01-3554-2006 (2.6)
3	Nitrat (NO <sub>3</sub> -N)	mg/l	10	2	0,0295	0,2219	0,25	SNI 01-3554-2006 (2.8)
4	Nitrit (NO <sub>2</sub> -N)	mg/l	0,005	0,091	< 0,005	< 0,005	0,42	SNI 01-3554-2006 (2.8)
5	Amonia (NH <sub>4</sub> )	mg/l	0,15	1,39	-	-	1,08	SNI 01-3554-2006 (2.9)
6	Sulfat (SO <sub>4</sub> )	mg/l	200	1,0	1,1	7,9	3,85	SNI 01-3554-2006 (2.10)
7	Klorida (Cl)	mg/l	250	2,9	1,6	4,9	0,98	SNI 01-3554-2006 (2.12)
8	Fluorida (F)	mg/l	1,0	0,18	< 0,02	< 0,02	0,23	SNI 01-3554-2006 (2.13)
9	Sianida (CN)	mg/l	0,05	< 0,005	< 0,01	< 0,01	-	SNI 01-3554-2006 (2.14)
10	Besi (Fe)	mg/l	0,1	0,11	< 0,03	< 0,03	0,04	SNI 01-3554-2006 (2.15)
11	Mangan (Mn)	mg/l	0,05	< 0,02	< 0,01	< 0,01	0,004	SNI 01-3554-2006 (2.16)
12	Cl <sub>2</sub> bebas	mg/l	0,1	< 0,01	-	-	-	SNI 01-3554-2006 (2.17)



Lanjutan Tabel 3.1

13	Kromium (Cr)	mg/l	0,05	< 0,02	< 0,0001	0,00013	< 0,02	SNI 06-6989.17-2004
14	Barium (Ba)	mg/l	0,7	< 0,1	-	-	-	SNI 06-6989.39-2005
15	Boron (B)	mg/l	0,3	< 0,01	-	-	-	SNI 01-3554-2006 (2.20)
16	Selenium (Se)	mg/l	0,01	< 0,002	< 0,005	< 0,005	-	Std Method (ed 21) 3500 Se
17	Timbal (Pb)	mg/l	0,005	< 0,005	< 0,04	< 0,04	< 0,05	SNI 06-6989.8-2004 <sup>3)</sup>
18	Tembaga (Cu)	mg/l	0,5	< 0,02	-	-	< 0,006	18-5A/K-Cu
19	Kadmium (Cd)	mg/l	0,003	< 0,003	< 0,001	< 0,001	-	SNI 06-6989.16-2004 <sup>3)</sup>
20	Air Raksa (Hg)	mg/l	0,001	< 0,0005	< 0,001	< 0,001	< 0,0001	SNI 06-6989.2-2003
21	Arsen (As)	mg/l	0,01	< 0,005	< 0,002	< 0,002	-	SNI 06-6989.33-2005
<b>C. MIKROBIOLOGI</b>								
1	Angka Lempeng Total Awal <sup>1)</sup>	Koloni/m l	100	90	-	-	-	SNI 01-2897-1992
2	Angka Lempeng Total Akhir <sup>2)</sup>	Koloni/m l	100.000		-	-	-	SNI 01-2897-1992
3	Kabteri Koli (Coliform)	MPN/10 Oml	< 2	0	-	-	-	SNI 06-3957-1996
4	Salmonella	- Negatif/ 100ml			-		-	SNI 01-3554-2006 (2.24)

Keterangan : Baku Mutu Air Kemasan SNI 01-3553-2006

1) = Di Parik 2) = Di Pasaran 3) = Logam berat merupakan logam terlarut < = lebih kecil Air Baku = Air Sumur

Sumber : [www.kelair.bppt.go.id](http://www.kelair.bppt.go.id)

### 3.2.4 Metode Pengolahan Air Hujan Sederhana

Salah satu alat pengolah air hujan sederhana adalah alat pengolah air minum yang merupakan paket yang terdiri dari tangki pengaduk, pompa aerasi dan saringan dari pasir atau disingkat Model TP2AS ([www.kelair.bppt.go.id](http://www.kelair.bppt.go.id)) Alat ini dirancang untuk keperluan rumah tangga sedemikian rupa sehingga cara pembuatan dan cara pengoperasiannya mudah serta biayanya murah. Alat pengolah air minum model TP2AS ini sangat cocok digunakan pada pengolahan air hujan baik yang ditampung dari atap maupun air hujan yang ditangkap di embung, serta air baku lainnya yang mengandung zat besi dan mangan serta zat organik dengan biaya yang murah. Tahapan pengolahan terdiri dari :

1. Netralisasi dengan pemberian kapur/gamping

2. Aerasi dengan pemompaan udara
3. Koagulasi-flokulasi dengan pemberian tawas
4. Pengendapan
5. Penyaringan.

### **3.3 Rainwater Harvesting System**

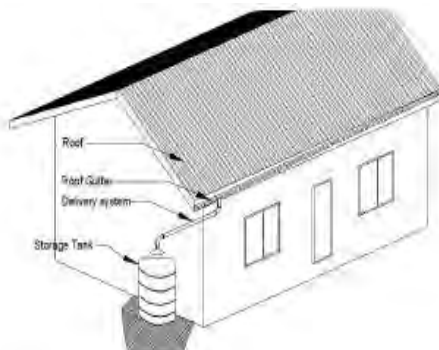
*Rainwater Harvesting System* (RHS) adalah sebuah teknologi pengumpulan dan penyimpanan air hujan untuk kebutuhan air manusia. RHS menggunakan pengumpulan dari atap rumah, halaman yang luas ataupun area parkir. Menurut Thomas (2007), RHS merupakan salah satu inovasi teknologi yang bersifat fleksibel dan adaptif terhadap kondisi yang bermacam-macam. RHS bisa digunakan di lingkungan masyarakat kaya hingga miskin di daerah yang basah hingga kering sekalipun. Secara umum, ada dua cara melakukan RHS (Morey, 2016), yaitu :

#### *a. Surface run off harvesting*

RHS dengan cara ini yaitu dengan menangkap air yang melimpas di permukaan dengan menyimpannya kedalam akuifer.

#### *b. Roof top rainwater harvesting*

RHS dengan cara ini menggunakan atap rumah sebagai penangkap air hujan untuk kemudian ditampung dalam kolam atau tangki. RHS dengan atap rumah ini membutuhkan performansi terbaik sehingga bisa efektif digunakan oleh masyarakat untuk menambah pasokan air saat musim kemarau dimana pada saat itu air memiliki nilai tertinggi.



**Gambar 3.4 Rooftop Rainwater Harvesting**

Sumber : Otti, 2013

### **3.3.1 Perhitungan Rainwater Harvesting System**

Dalam Patel (2014), potensi air yang dapat dipanen dapat dihitung dengan mengetahui luas permukaan atap, koefisien *run off* dan nilai curah hujan. Luas permukaan atap merupakan *catchment area* dalam perencanaan RHS. Sementara koefisien *run off* merupakan rasio dari volume air yang melimpas di permukaan terhadap volume air hujan yang jatuh di permukaan ( Gould, 1999) Koefisien *run off* bervariasi mulai dari 0,5 hingga 1,0. Secara matematis, koefisien *run off* dapat dihitung dengan formula :

$$Cr = \frac{\text{Volume air yang melimpas}}{\text{volume air yang jatuh ke permukaan}} \dots\dots\dots(3.3)$$

Pada Tabel 3.2 ditunjukkan beberapa nilai koefisien *run off* .

**Tabel 3.2 Nilai Koefisien *Run off***

No	Jenis Luasan	Tanah Datar (0-5%)	Tanah bergelombang (5-10%)	Tanah berbukit ( 10-30%)
1	Daerah Perkotaan	0,55	0,65	-
2	Perumahan	0,3	0,3	0,3
3	Daerah budidaya	0,5	0,6	0,72
4	Padang rumput	0,3	0,36	0,42
5	Wilayah Hutan	0,3	0,35	0,50

Sumber : Garg, 1987

Adapun volume air yang dapat diterima dapat dihitung dengan :

$$V = (A \times Cr \times I)/(1000) \dots\dots\dots(3.6)$$

Sementara volume air yang dapat diterima per tahun didapat dari :

$$Va = A \times Ia \dots\dots\dots(3.7)$$

Dimana :

V = Volume air yang diterima ( $m^3$ )

Va = Volume air yang diteriima per tahun ( $m^3$ )

- A = *catchment area* ( $m^2$ )
- Cr = koefisien *run off*
- I = nilai curah hujan (mm)
- Ia = nilai curah hujan per tahun (m/tahun)

### 3.3.2 Keunggulan *Rainwater Harvesting System*

Beberapa keunggulan RHS menurut Julius et al (2013), antara lain :

- Air yang dihasilkan bersih dan merupakan sumber air yang bebas
- Air dapat digunakan untuk menyiram tanaman hias dan kebun karena tidak diklorinasi.
- Dapat dijadikan pengganti sumber air seperti air tanah atau jaringan air rumah tangga sebagai pasokan air bersih
- Biaya penyediaan air yang rendah
- Dapat dijadikan supply air bersih di daerah darurat akibat kekeringan maupun bencana alam
- Menggunakan teknologi yang sederhana yangn murah dan mudah dipelihara
- Dapat diterima oleh semua kalangan masyarakat dan ramah lingkungan
- Dapat mencegah terjadinya banjir dan terkikisnya lapisan tanah atas

- i. Mudah dalam konstruksi dan pemeliharaan
- j. Tidak membutuhkan keahlian dan pengetahuan khusus dalam penggunaannya.
- k. Mengurangi kontaminasi air permukaan dari sedimen, fertilizer maupun pestisida
- l. Dapat digunakan untuk mengisi kembali air tanah

### 3.4 Filtrasi

Proses filtrasi adalah mengalirkan air hasil sedimentasi atau air baku melalui media pasir dan untuk meremoval sifat fisik air baku yaitu kekeruhan serta mikrobiologi yang terkandung di dalamnya. Dilihat dari segi desain kecepatan, filtrasi digolongkan menjadi saringan pasir lambat (*slow sand filter*) dan saringan pasir cepat (*rapid sand filter*) (Al-layla, 1980). *Rapid sand filter* memiliki kelebihan dalam segi dimesi unit filtrasi yang tidak memerlukan lahan yang luas namun membutuhkan *backwash* dalam pengoperasiannya (Schulz, 1984). Perbedaan *rapid sand filter* dan *slow sand filter* dapat dilihat pada Tabel 3.3. Media yang dipakai berbentuk:

- Singel media, misal : pasir
- Dual media, misal : antrasit dan pasir terpisah
- Mixed media, misal : antrasit dan pasir tercampur

**Tabel 3.3 Perbedaan *rapid sand filter* dan *slow sand filter***

Kriteria	Rapid Sand Filter	Slow Sand Filter
Kec. Filtrasi	4 – 12 m/jam	0,1 – 0,4 m/jam
Ukuran bad	40 – 400 m <sup>2</sup>	2000 m <sup>2</sup>
Kedalaman bed	30 – 45 cm kerikil, 60 – 70 cm pasir, tidak berkurang saat pencucian	30 cm kerikil, 90 – 110 cm pasir, berkurang 50 – 80 cm saat pencucian

Kriteria	Rapid Sand Filter	Slow Sand Filter
Ukuran pasir	Effective size >0,55 mm, uniformity coefficient <1,5	Effective size >0,25 – 0,3 mm, uniformity coefficient <2 – 3
Distribusi ukuran media	Terstratifikasi	Tidak terstratifikasi
Sistem underdrain	Pipa lateral yang berlubang yang mengalir ke pipa manifold	Pipa lateral berlubang yang mengalir ke pipa manifold atau batu kasar dan beton berlubang sebagai saluran utama
Kehilangan energi	30 cm saat awal, hingga 275 cm saat akhir	6 cm saat awal, hingga 120 cm saat akhir
Filter run	12 -72 jam	20 – 60 hari
Metoda pembersihan	Mengangkat kotoran dan pasir ke atas dengan backwash	Mengambil lapisan pasir di permukaan dan mencucinya
Air untuk pembersihan	1 – 6% dari air tersaring	0,2 – 0,6% dari air tersaring
Pengolahan pendahulu	Koagulasi-flokulasi-sedimentasi	Kekeruhan kurang dari 50 NTU

Sumber: Schulz dan Okun, 1984

Gambar *rapid sand filter* dapat dilihat pada Gambar 3.5. Kriteria nilai ukuran efektif dan keseragaman media untuk beberapa jenis dan jumlah media filter dapat dilihat pada Tabel 3.4.

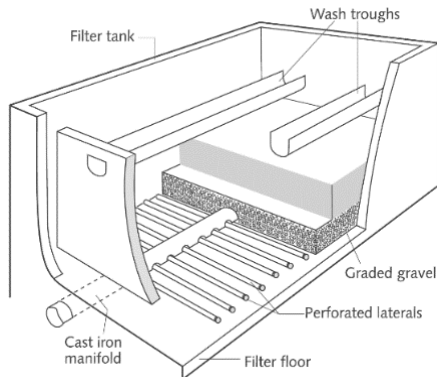
**Tabel 3.4 Kriteria Desain Media Filter**

Karakteristik		Rentang Nilai
1. Single media		
• Media pasir		
	Kedalaman (mm)	610-760
	<i>Effective Size</i> (mm)	0,35-0,7
	<i>Uniformity Coefficient</i>	<1,7
• Media antrasit		
	Kedalaman (mm)	610-760
	<i>Effective Size</i> (mm)	0,7-0,75
	<i>Uniformity Coefficient</i>	<1,75
• Laju filtrasi (L/dtk.m <sup>2</sup> )		1,36-3,4
2. Dual media		
• Media pasir		
	Kedalaman (mm)	460-610
	<i>Effective Size</i> (mm)	0,9-1,1
	<i>Uniformity Coefficient</i>	1,6-1,8
• Media antrasit		
	Kedalaman (mm)	150-205
	<i>Effective Size</i> (mm)	0,45-0,55
	<i>Uniformity Coefficient</i>	1,5-1,7



Karakteristik	Rentang Nilai
<ul style="list-style-type: none"> <li>Laju filtrasi (<math>L/dtk.m^2</math>)</li> </ul>	2,04-5,44

Sumber: Reynolds dan Richards, 1996



**Gambar 3.5 Desain *Rapid Sand Filter***

Sumber: Reynolds dan Richards, 1996

### 3.4.1 Modifikasi Filtrasi Sederhana

Konsep dasar dari pengolahan air dengan cara penyaringan adalah memisahkan padatan dan koloid dari air dengan alat penyaring atau saringan. Salah satu faktor mempengaruhi filtrasi adalah diameter media. Semakin halus butiran yang digunakan sebagai media penyaring, semakin baik air yang dihasilkan. Jika diameter butiran kecil maka akan meningkatkan penyaringan (Sularso, 1998). Ukuran partikel berkaitan dengan distribusi ukuran pori. Semakin kecil ukuran partikel yang digunakan maka semakin besar kecepatan adsorbsinya. Serta semakin luas permukaan adsorben (zat penyerap), maka semakin banyak adsorbat (zat terserap) yang dapat diserap, sehingga proses adsorpsi dapat semakin efektif. Semakin kecil ukuran diameter partikel maka semakin

luas permukaan adsorben (Reynolds, 1982). Distribusi ukuran pori mempengaruhi distribusi ukuran molekul adsorbat yang masuk ke dalam partikel adsorben (Cheremisinof, 1978)

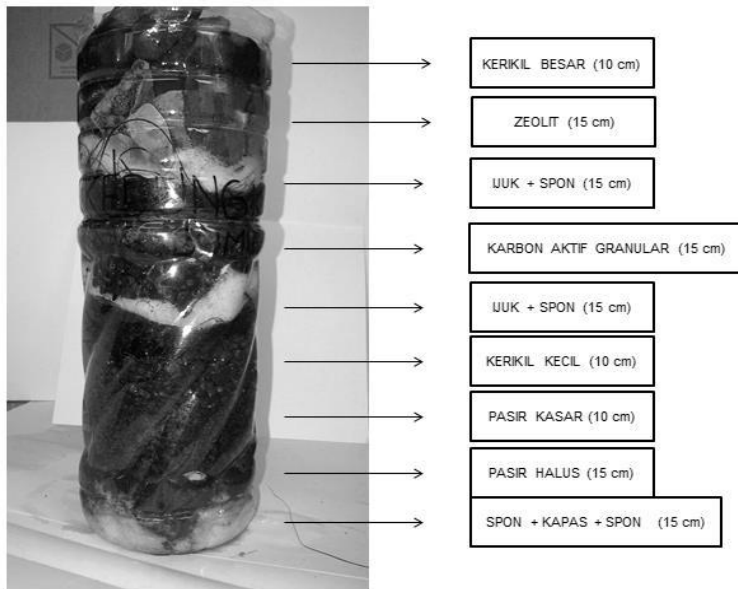
Untari (2015) dalam penelitiannya menggunakan modifikasi filtrasi sederhana. Alat-alat yang digunakan sebagai media antara lain :

- a. Spon dan kapas dengan tinggi total lapisan 10 cm.
  - b. Zeolit dengan tinggi lapisan 15 cm.
  - c. Spon dan ijuk dengan tinggi 15 cm.
  - d. GAC (*Granular Activated Carbon*) dengan tinggi lapisan 15 cm.
  - e. Spon dan ijuk dengan tinggi lapisan 15 cm.
  - f. Kerikil kecil dengan tinggi lapisan 10 cm.
  - g. Pasir kasar dengan tinggi lapisan 10 cm.
  - h. Pasir halus dengan tinggi lapisan 15 cm
  - i. Spon dan kapas Kerikil besar dengan tinggi lapisan 15 cm.
- Sehingga tersusun sebagaimana Gambar 3.6 berikut.

Susunan filter berdasarkan pada ukuran partikel media filter yaitu dari ukuran terbesar ke terkecil dari atas ke bawah sehingga semakin rapat rongga pada media filter. Susunan dengan skala laboratorium yaitu dari bawah ke atas sebagai berikut spon dan kapas setebal 3.80 cm, pasir halus 20 up mesh setinggi 3.80 cm, pasir kasar 4-8 mesh setinggi 2.50 cm, kerikil kecil 8-10 mesh setinggi 2.50 cm, kapas dan ijuk setebal 3.80 cm, *Granular Activated Carbon* (GAC) 6-8 mesh setinggi 3.80 cm, kapas dan ijuk setebal 3.80 cm, zeolit 16-32 mesh setinggi 3.80 cm, dan kerikil besar 16-32 mesh setinggi 2.50 cm.

Media filter yang menyusun pipa filter memiliki peran penting masing-masing. Kerikil besar menyaring pengotor dengan ukuran besar. Zeolit berperan mengadsorpsi antara adsorben (zat penjerap) dan adsorbat (zat terjerat) serta menyaring zat padatan karena ruang hampa pada zeolit [8]. Prinsip zeolit lain yaitu penukar ion untuk menjaga kenetralan.

*Granular Activated Carbon* (GAC) berperan mengadsorpsi baik secara fisik dan kimia.



**Gambar 3.6 Rancangan Filtrasi Termodifikasi**

Sumber : Untari, 2015

Adsorpsi fisik terjadi karena adanya ikatan Van der Waals, dan bila ikatan tarik antar molekul zat terlarut dengan zat penyerapnya lebih besar dari ikatan antara molekul zat terlarut dengan pelarutnya maka zat terlarut akan dapat diadsorpsi (Reynolds, 1982). Adsorpsi kimia merupakan hasil dari reaksi kimia antara molekul adsorbat dan adsorban dimana terjadi pertukaran elektron (Benefield et al., 1982). Zeolit dan GAC dapat mengadsorpsi zat terlarut penyebab rasa, warna, aroma kurang baik serta mengadsorpsi mineral dan logam berat. Kerikil kecil dan pasir halus menyerap zat

padatan atau kotoran yang masih lolos dari media filter sebelumnya.

### **3.5 Reservoir**

Kegunaan reservoir adalah sebagai tampungan untuk memenuhi kebutuhan air konsumen yang naik turun dan sebagai pemantap tekanan dalam distribusi. Penyediaan produksi reservoir dilaksanakan dengan menentukan penentuan kapasitas berdasarkan persamaan tampungan yaitu aliran keluar reservoir (produksi) sama dengan aliran masuk ditambah atau dikurangi dengan perubahan tampungan. Atau dengan kata lain aliran keluar harus sama dengan aliran masuk dikurangi buangan-buangan serta kehilangan-kehilangan yang terjadi. Yang juga harus diperhatikan adalah letak reservoir ini harus sedekat mungkin ke pusat pemakaian. Permukaan air reservoir harus cukup tinggi dan bertekanan cukup sehingga aliran air bisa sampai ke sistem yang dilayani. Reservoir di tempat yang tinggi sangat baik digunakan untuk memantapkan tekanan.

Reservoir ada 2 macam yaitu:

*a. Ground reservoir*

*Ground reservoir* adalah bangunan penampung air bersih di bawah permukaan air tanah

*b. Elevated reservoir*

*Elevated reservoir* adalah bangunan penampung air bersih yang terletak di atas permukaan tanah dengan ketinggian tertentu sehingga tekanan air pada titik terjauh masih tercapai.

### 3.6 Air Limbah

Air limbah adalah sisa air yang digunakan dalam industri atau rumah tangga yang dapat mengandung zat tersuspensi dan zat terlarut. Air limbah adalah air yang dikeluarkan oleh industri akibat proses produksi dan pada umumnya sulit diolah karena biasanya mengandung beberapa zat seperti : pelarut organik zat padat terlarut, suspended solid, minyak dan logam berat (Metcalf and Eddy, 1991)

Ditinjau dari sumber penghasilnya, air limbah dibagi menjadi 3, yaitu :

a. Air limbah domestik

Sumber utama air limbah rumah tangga dari masyarakat berasal dari perumahan dan daerah perdagangan, daerah perkantoran, daerah fasilitas rekreasi. Buangan manusia sendiri terdiri dari tinja, urin, dan air penggelontor. Menurut Mara (1976), air limbah daerah tropis memiliki harga BOD antara 400-700 mg/L.

Menurut Winnerberger (1969), karakteristik air limbah yang berasal dari perumahan, dapat dibedakan menjadi 4 tipe, yaitu :

1. *Grey Water* : air cucian yang berasal dari dapur, kamar mandi, laundry, dan lain-lain tanpa feses dan urin
2. *Black water* : air yang berasal dari pembilasan toilet ( fese dan urin dengan pembilasan/penyiraman)
3. *Yellow water*: urin yang berasal dari pemisahan toilet dan urinal (dengan atau tanpa air untuk pembilasan)
4. *Brown water*: *black water* tanpa urin atau *yellow water*

b. Air limbah Non-domestik (air limbah industri)

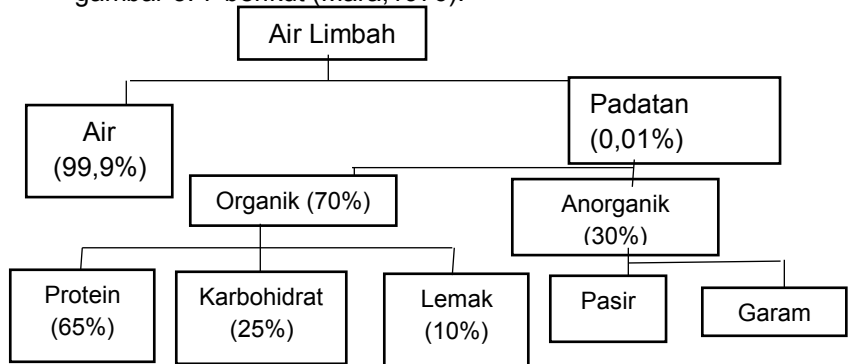
Air limbah industri merupakan air bekas pemakaian yang berasal dari daerah bukan permukiman seperti

wilayah industri, rumah sakit, laboratorium, dan lain sebagainya. Air limbah industri berasal dari proses dan operasi industri tersebut. Jumlah air limbah yang berasal dari industri sangat bervariasi tergantung jenis dan besar kecilnya industri.

c. Air limbah tambahan dan rembesan

Air limbah tambahan merupakan air hujan yang melimpah dari saluran pengering atau saluran air hujan. Air limbah ini disebabkan oleh air hujan yang masuk melebihi daya tampung saluran sehingga limpahan air hujan akan digabung dengan saluran air limbah. Hal ini akan menjadi faktor tambahan yang sangat besar. Sehingga perlu diketahui curah hujan yang ada sehingga banyaknya air yang akan ditampung melalui saluran air hujan atau saluran pengering dan saluran air limbah dapat diperhitungkan (Madyanova, 2005)

Bahan-bahan yang terkandung dalam air limbah dapat dikelompokkan seperti terlihat pada gambar 3. 7 berikut (Mara,1976).



**Gambar 3.7 Skema pengelompokan bahan yang terkandung di dalam air limbah**

### 3.6 Pengolahan Air Limbah

Berdasarkan proses pengolahannya, limbah cair dapat dibedakan menjadi tiga yaitu pengolahan fisik, contohnya: *screening*, *mixing*, *flocculation*, *sedimentation*, *filtration* dan *gas transfer*. Pengolahan ini bertujuan menghilangkan atau mengambil material padat yang ada didalam limbah cair, baik dengan cara pengendapan maupun pengapungan. Pengolahan kimia, contohnya: *adsorption* dan *desinfection*. Bertujuan untuk menghilangkan padatan yang tersuspensi dengan cara menambahkan bahan kimia agar terjadi reaksi kimia sehingga bisa mengendap. Pengolahan biologi, contohnya: *trickling filter*, *rotating biological contactor* dan lumpur aktif (*activated sludge*). Bertujuan untuk menguraikan bahan-bahan organik yang ada didalam limbah cair (Metcalf & Eddy, 1991)

Dalam pengolahan limbah cair ada beberapa proses tahapan pengolahan yang harus dilakukan. Tahapan pengolahan meliputi : pengolahan pendahuluan (*pre treatment*) bertujuan untuk membersihkan material padat baik yang mengapung maupun yang mengendap, contohnya: *bar rack*, *grit chamber* dan *comminutor*. Pengolahan pertama (*primary treatment*) bertujuan untuk menghilangkan material padat yang tercampur/tersuspensi dengan air limbah, contohnya bak pengendap. Pengolahan kedua (*secondary treatment*) bertujuan untuk menguraikan bahan-bahan organik yang ada didalam limbah cair, contohnya: *trickling filter*, lumpur aktif, kolam oksidasi dan *rotating biological contactor* (RBC). Pengolahan ketiga (*tertiary treatment*) bertujuan bila pada pengolahan pertama dan kedua masih ada terdapat zat-zat tertentu yang berbahaya bagi masyarakat dan lingkungan maka, perlu dilakukannya penambahan pengolahan ketiga. Jenis pengolahan yang dilakukan berdasarkan zat yang terbanyak tersisa dari unit pengolahan sebelumnya dan dianggap berbahaya. Unit pengolahan ketiga misalnya berupa saringan pasir, *vacuum filter*, *mikrostainig* dan pengurangan besi dan mangan. Pengolahan lanjutan (*ultimate disposal*)

bertujuan untuk mengolah lumpur sisa dari proses pengolahan limbah cair (Metcalf & Eddy, 1991).

Berdasarkan proses pengolahannya, pengolahan biologis terdiri dari pengolahan secara aerobik dan anaerobik. Pada pengolahan aerobik bakteri yang ada didalam unit pengolahan biologi memerlukan oksigen dalam menguraikan zat-zat yang ada didalam limbah cair atau dengan kata lainnya pengolahan yang membutuhkan udara. Pengolahan anaerobik, bakteri yang ada didalam unit pengolahan biologi tidak memerlukan oksigen dalam menguraikan zat-zat yang ada didalam limbah cair atau dengan kata lain pengolahan yang tanpa memerlukan udara.

### **3.7 Pengolahan Anaerobik**

Pengolahan anaerobik adalah pengolahan air limbah dengan menggunakan bakteri anaerob atau tanpa membutuhkan oksigen dalam proses pengolahan atau penguraian air limbahnya oleh bakteri. Pengolahan anaerob dapat digunakan dalam proses pengolahan air limbah industri dan air limbah domestik (McCarty and Smith, 1986). Dan telah direkomendasikan oleh beberapa peneliti (Nachaiyasit and Stucky, 1997; Barber and Stucky, 1999; Wang *et al.*, 2004).

Dalam pengolahan air limbah secara anaerobik mempunyai kelebihan dan kekurangan bila dibandingkan dengan proses pengolahan lainnya. Kelebihan dan kekurangannya antara lain sebagai berikut (Metcalf and Eddy, 2003):

- a. Kelebihan pengolahan anaerob : efisiensi yang tinggi, mudah dalam konstruksi dan pengoperasiannya, membutuhkan lahan/ruang yang tidak luas, membutuhkan energi yang sedikit, menghasilkan lumpur yang sedikit, membutuhkan nutrien dan kimia yang sedikit.
- b. Kekurangan pengolahan anaerob : penyisihan kandungan nutrient dan patogen yang rendah, membutuhkan waktu yang lama untuk *start-up*, menimbulkan bau.



Dalam pengolahan anaerobik ada beberapa faktor yang mempengaruhi dalam pengolahan anaerobik :

- a. Temperatur, dimana temperatur sangat penting dalam mempercepat reaksi biologis yang ada didalam proses pengolahan air limbah. Temperatur juga memberi pengaruh terhadap kecepatan transfer gas dan karakteristik pengendapan pada padatan biologis. Tingginya efisiensi proses pengolahan anaerobik berdasarkan pada temperatur reaktor (Bogte et al, 1993; Van Haandel and Leetinga, 1994).
- b. pH, nilai dan stabilitas pH sangat berpengaruh dalam reaktor anaerobik karena tinggi kecepatan proses *menthanogenesis* ketika pH nya berada pada kondisi netral (6,3 - 7,8) (Van Haandel and Leetinga, 1994).

### **3.8 Anaerobic Baffled Reactor (ABR)**

*Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) merupakan sistem pengolahan tersuspensi anaerob, dalam bioreaktor berpenyekat. Pertumbuhan tersuspensi (*suspended growth*) lebih menguntungkan dibanding pertumbuhan melekat (*attached growth*) karena tidak membutuhkan media pendukung serta tidak mudah tersumbat.

*Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) dikembangkan oleh McCarty dan rekan-rekannya di Universitas Stanford (McCarty, 1981 dalam Wang, 2004). ABR merupakan UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) yang dipasang secara seri, namun tidak membutuhkan butiran (*granule*) dalam operasinya (Barber and Stucky 1999 dalam Wang, 2004), sehingga memerlukan periode *start-up* lebih pendek (Movahedian, 2007). Serangkaian sekat vertikal dipasang dalam ABR membuat limbah cair mengalir secara *under and over* dari inlet menuju outlet, sehingga terjadi kontak antara limbah cair dengan biomassa aktif (Nachaiyasit and Stucky, 1997 dalam Movahedian, 2007). Profil konsentrasi senyawa organik bervariasi sepanjang ABR sehingga menghasilkan

pertumbuhan populasi mikroorganisme berbeda pada masing-masing kompartemen (Foxon et.al., 2004) tergantung pada kondisi lingkungan spesifik yang dihasilkan oleh senyawa hasil penguraian (Nachaiyasit and Stucky, 1997 dalam Bell, 2002). Bakteri dalam bioreaktor mengapung dan mengendap sesuai karakteristik aliran dan gas yang dihasilkan, tetapi bergerak secara horisontal ke ujung reaktor secara perlahan sehingga meningkatkan *cell retention time*. Limbah cair berkontak dengan biomassa aktif selama mengalir dalam reaktor, sehingga efluen terbebas dari padatan biologis (*biological solids*). Konfigurasi tersebut mampu menunjukkan tingkat penyisihan COD yang tinggi (Grobicki and Stucky, 1991 dalam Wang, 2004).

Kelebihan-kelebihan utama ABR adalah :

1. ABR mampu memisahkan proses asidogenesis dan metanogenesis secara longitudinal yang memungkinkan reaktor memiliki sistem dua fase (*two stage*), tanpa adanya masalah pengendalian dan biaya tinggi (Bell, 2002; Barber and Stucky, 1999 dalam Movahedyan, 2007).
2. Desainnya sederhana, tidak memerlukan pengaduk mekanis, biaya konstruksi relatif murah, biomassa tidak memerlukan karakteristik pengendapan tertentu, lumpur yang dihasilkan rendah, SRT tinggi dicapai tanpa media pendukung serta tidak memerlukan sistem pemisahan gas (Bell, 2002). Peningkatan volume limbah cair tidak masalah, bahkan memungkinkan operasional intermitten, selain itu ABR stabil terhadap adanya beban kejut hidrolis dan organik (*hydraulic and organik shock loading*) selain itu konfigurasi ABR melindungi biomassa dari senyawa toksik dalam influen (Barber and Stuckey, 1999 dalam Bell, 2002).
3. Selain itu pola hidrodinamik ABR dapat mereduksi terbuangnya bakteri (*bacterial washout*) dan mampu menjaga biomassa tanpa penggunaan *fixed media* (Grover et.al, 1999 dalam Movahedyan, 2007). Pemisahan dua

fase menyebabkan peningkatan perlindungan terhadap senyawa toksik dan memiliki ketahanan terhadap perubahan parameter lingkungan seperti pH, temperatur dan beban organik (Barber and Stucky, 1999 dalam Movahedyan, 2007).

Sedangkan kelemahan dari desain reaktor bersekat adalah bioreaktor harus dibangun cukup rendah untuk mempertahankan aliran ke atas (*upflow*) cairan maupun gas (Barber and Stucky, 1999 dalam Bell, 2002).

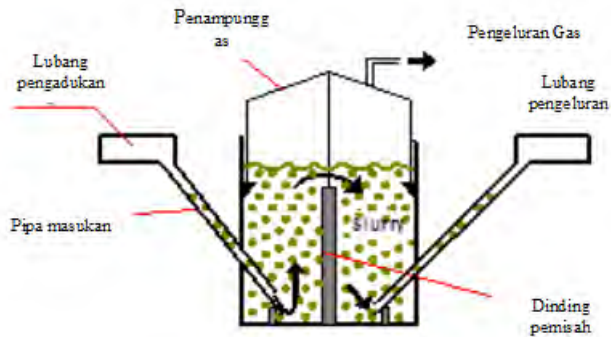
Untuk meningkatkan kinerja ABR, perlu dipertimbangkan beberapa aspek yang berkaitan dengan struktur mikroorganisme yang akan terbentuk dalam reaktor, yaitu : kecepatan aliran permukaan, waktu kontak, laju pembebanan organik, karakteristik limbah cair, jenis bibit lumpur yang digunakan, suhu, pH dan alkalinitas, serta keberadaan polimer dan kation seperti Ca, Mg dan Fe.

### **3.9 Digester**

Digester merupakan salah satu unit pengolahan air limbah khususnya *black water*. Digester biasanya digunakan dalam unit pembentukan biogas. Digester berpengaruh pada proses fermentasi basah dalam pembentukan biogas. Digester memiliki fungsi untuk membuat keadaan anaerob agar proses fermentasi berlangsung dengan baik. Digester dapat terbuat dari berbagai jenis bahan dan ukuran sesuai dengan kebutuhan. Ada beberapa jenis dari digester (Haryati, 2006) antara lain :

#### *a. Digester Floating Drum*

Digester tipe drum ini sangat populer di India. Digester ini terdiri dari dua bagian utama yaitu tempat isian dan tempat penampungan hasil gas. Tempat isian terbuat dari semen dan mortar sedangkan penampungan gas terbuat dari baja ringan. Kekurangan dari digester tipe drum ini adalah biaya investasi yang mahal. Berikut adalah gambar dari digester tipe drum.



**Gambar 3.8 Digester Floating Drum**

**b. Fixed Dome**

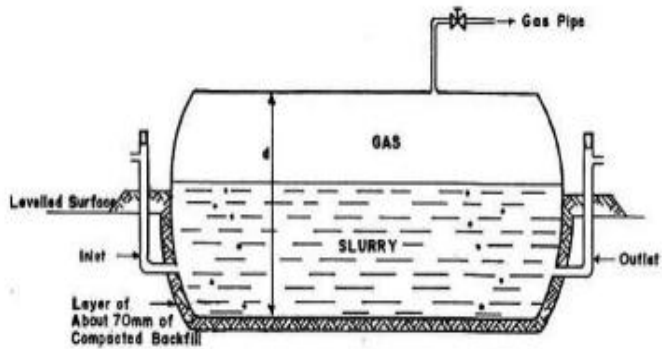
Digester ini berkembang di Cina. Digester tipe ini terbuat dari semen dan batu bata. Digester ini menghilangkan pemakaian baja ringan yang mahal selain itu baja mudah terkorosi. Tempat isian dan penampungan gas menjadi satu bagian. Digester *Fixed Dome* dapat dilihat pada gambar 3.9 berikut.



**Gambar 3.9 Digester Fixed Dome**

c. Tipe Balon

Digester tipe balon berkembang di Taiwan. Digester ini terbuat dari plastik dan pipa PVC. Tipe ini memecahkan mahalnya investasi menggunakan batu bata atau semen. Selain itu pemakaian mudah dan mudah dipindahkan. Namun berdasarkan hasil studi plastik yang digunakan tidak tersedia di berbagai tempat, terutama di pedesaan. Gambar 3.10 menunjukkan digester tipe balon.



**Gambar 3.10 Digester Tipe Balon**

### 3.10 Hidrolika Saluran Tertutup Dan Terbuka

Air akan mengalir apabila terjadi perbedaan tekanan, pada titik bertekanan besar ke tekanan kecil. Aliran air berdasarkan tekanan dibedakan menjadi dua, yaitu aliran tertutup dan aliran terbuka. Rumus yang digunakan dalam menentukan dimensi saluran terbuka menggunakan rumus Manning. Rumus saluran terbuka dapat dilihat pada Persamaan 3.6-3.11.

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times R^{2/3} \times S^{1/2} \dots\dots\dots(3.8)$$

dimana:

$Q$  = Debit aliran (L/dtk)

$n$  = Koefisien kekasaran manning

$A$  = Luas penampang basah ( $m^2$ )

$R$  = Jari-jari hidrolik (m)

$S$  = Kemiringan dasar saluran (m/m)

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \dots\dots\dots(3.9)$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{b \times h}{b + 2h} \dots\dots\dots(3.10)$$

dimana:

$V$  = Kecepatan aliran (m/dtk)

$P$  = Keliling basah (m)

$b$  = Lebar saluran (m)

$h$  = Kedalaman saluran (m)

$$hf = S \times L \dots\dots\dots(3.11)$$

dimana:

$hf$  = Kehilangan tekanan (m)

$L$  = Panjang saluran (m)

$$hf_p = \left[ \frac{Q}{\mu \times b \times h} \right]^2 \times \frac{1}{2g} \dots\dots\dots(3.12)$$

dimana:

$h_{fp}$  = Kehilangan tekanan pada pintu air (m)

$b$  = Lebar pintu air (m)

$h$  = Tinggi air (m)

Kehilangan tekanan air pada pipa (*headloss*) terjadi karena gaya gesek antara fluida dengan permukaan pipa yang dilaluinya. Kehilangan tekanan pada pipa ada dua macam yaitu *mayor losses* dan *minor losses*. *Mayor losses* merupakan kehilangan tekanan sepanjang pipa lurus dimana dihitung dengan rumus Hazen-William. *Mayor losses* juga dipengaruhi oleh koefisien Hazen-William ( $C$ ) dimana untuk pipa besi adalah 120-130 (Kawamura, 1991).

$$H_f = \frac{L}{(0,00155 \times C \times D^{2,63})^{1,85}} Q^{1,85} \dots\dots\dots(3.13)$$

dimana:

$H_f$  = *Mayor losses* (m)

$L$  = Panjang pipa (m)

$Q$  = Debit aliran (L/dtk)

$C$  = Koefisien Hazen-William

*Minor losses* yaitu kehilangan tekanan yang terjadi pada aksesoris pipa yang digunakan, misal *elbow*, *tee*, *reduser*, *valve* dan lainnya. Persamaan yang digunakan (Kawamura, 1991):

$$H_f = K \times \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(3.14)$$

dimana:

$H_f$  = *Minor losses* (m)

$K$  = Konstanta aksesoris

$v$  = Kecepatan aliran (m/dtk)

$g$  = Kecepatan gravitasi (m/dtk<sup>2</sup>)

Modifikasi saluran terbuka berupa bak penampung dan bak pelimpah dilengkapi dengan *weir* berfungsi sebagai penyalur air dengan terlebih dahulu menahan sementara air yang akan disalurkan. Persamaan untuk menghitung dimensi *weir* dan gutter dapat dilihat pada Persamaan 3.13-3.14.

$$L = Q / WRL \dots \dots \dots (3.15)$$

dimana:

$L$  = Panjang weir (m)

$WLR$  = Weir Loading Rate (m<sup>3</sup>/m.dtk)

$$w = \frac{Q}{\sqrt{y c^2 x g}} \dots \dots \dots (3.16)$$

dimana:

$w$  = Lebar gutter (m)

$yc$  = Tinggi muka air di gutter (m)

### 3.11 Pompa

Tekanan pompa sangat bergantung kepada *head* yang dibutuhkan pada kondisi lapangan. Kebutuhan *head* yang paling berpengaruh diantaranya *head statis* sebagai beda tinggi antar permukaan air, *head friction* sebagai kehilangan tekanan selama pengaliran air, dan *head sisa tekan* sebagai



cadangan tekanan minimum yang rencanakan. Berdasarkan rumus Bernaulli untuk menghitung head pompa dapat di lihat di Persamaan 3.15.

$$H_p = H_s + H_{f_{total}} + H_{Sisa} \dots \dots \dots (3.17)$$

dimana:

$H_p$  = Tekanan total pompa (m)

$H_s$  = Tekanan statis (m)

$H_{f_{total}}$  = Kehilangan tekanan pada pipa (m)

$H_{Sisa}$  = Sisa tekan (m)

Operasional pompa membutuhkan listrik sebagai sumber tenaganya. Daya pompa nantinya akan menentukan kebutuhan listrik selama operasional pompa yang berhubungan dengan biaya operasional. Rumus yang digunakan untuk menghitung daya pompa dapat di lihat di Persamaan 3.16 – 3.18.

$$HHP = \frac{Q \times \gamma \times H_p}{0,75} \dots \dots \dots (3.18)$$

$$BHP = \frac{HHP}{\eta_p} \dots \dots \dots (3.19)$$

$$Nd = \frac{BHP(1+\alpha)}{\eta_{trans}} \dots \dots \dots (3.20)$$

dimana:

HHP = Daya hidrolik pompa (Hp)

BHP = Daya poros pompa (Hp)

- $N_d$  = Daya penggerak (Hp)  
 $Q$  = Debit aliran ( $m^3/s$ )  
 $\gamma$  = Berat spesifik cairan ( $kg/m^3$ )  
 $H_p$  = Total head pompa (m)  
 $\eta_p$  = Efisiensi pompa (60-85%)  
 $\eta_{trans}$  = Efisiensi transmisi pompa (75-95%)  
 $\alpha$  = Faktor cadangan (untuk motor induksi 0,1-0,2)

## **BAB 4**

### **METODOLOGI PERENCANAAN**

#### **4.1 Kerangka Perencanaan**

Kerangka perencanaan ini disusun untuk memberikan gambaran tahapan-tahapan pelaksanaan kegiatan perencanaan dan membantu pelaksanaan menjadi sistematis. Kerangka perencanaan disajikan dalam bentuk diagram alir Gambar 4.1

#### **4.2 Uraian Tahapan Kegiatan Perencanaan**

Rangkaian kegiatan perencanaan yang terdapat dalam kerangka perencanaan dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Ide studi

Ide penyusunan tugas akhir ini adalah merencanakan unit bangunan penyuplai air bersih di pondok pesantren Mambaul Ulum Bata-Bata menggunakan *rainwater harvesting* untuk menambah pasokan air bersih saat musim kemarau dan unit pengolahan air limbah untuk mengurangi pencemaran air tanah. Dengan latar belakang konstruksi atap pondok pesantren yang sudah menggunakan talang air hujan, curah hujan yang cukup tinggi di wilayah pondok pesantren Mambaul Ulum Bata-Bata, dan belum adanya pengolahan terhadap air limbah yang dihasilkan.

2. Studi literatur

Studi literatur merupakan tinjauan pustaka sebagai kegiatan mengumpulkan informasi yang berguna, memahami konsep perencanaan dan mendapatkan data penunjang untuk kegiatan perencanaan yang

berasal dari literatur. Tinjauan pustaka yang dilakukan meliputi baku mutu air limbah yang digunakan di Indonesia, alternatif unit yang digunakan di daerah krisis air, dan unit-unit pengolahan air limbah.

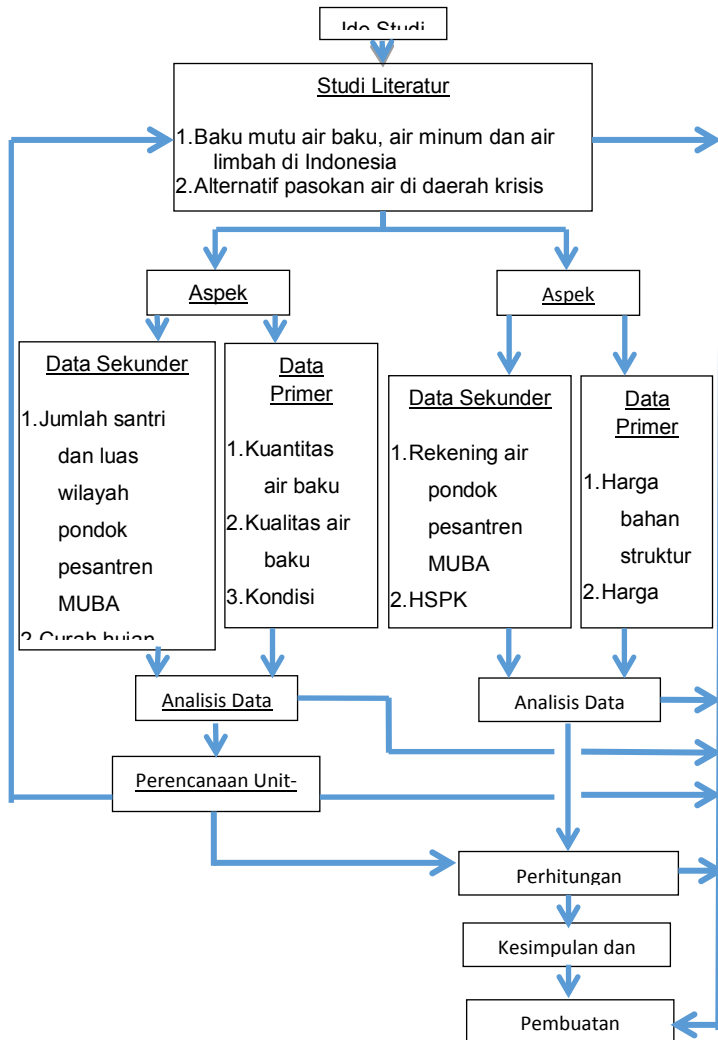
### 3. Pengumpulan data

Data yang digunakan dalam perencanaan unit bangunan penyuplai air bersih dan unit pengolahan air limbah di pondok pesantren MUBA ini antara lain:

#### a. Data Sekunder

Data sekunder yang diperlukan dalam kegiatan perencanaan, antara lain:

- Data curah hujan yang diperoleh dari BMKG Kabupaten Pamekasan, digunakan untuk mengetahui potensi air hujan yang dapat dimanfaatkan.
- Data jumlah santri dan luas wilayah pondok pesantren MUBA yang digunakan untuk proyeksi kebutuhan air dan air limbah yang dihasilkan serta peletakan unit bangunan penyuplai air bersih dan pengolahan air limbah.
- Data kebutuhan air pondok pesantren MUBA yang diperoleh dari rekening tagihan air pondok pesantren.



**Gambar 4.1 Diagram Kerangka Perencanaan**

b. Data Primer

Data primer yang diperlukan dalam kegiatan perencanaan, antara lain:

- Kualitas dan kuantitas air baku air hujan untuk menentukan unit pengolahan yang akan digunakan, karakteristik air baku:
  - Kekerusuhan menggunakan metode turbidimetri
  - TSS menggunakan metode gravimetric.
  - pH dan suhu menggunakan pH meter dan termometer.
  - Kesadahan menggunakan metode titrasi kompleksometri.
- Kualitas air limbah yang akan diolah dan yang telah diolah, dengan parameter meliputi :
  - BOD menggunakan metode Winkler.
  - COD menggunakan metode titrimetri.
  - TSS menggunakan metode gravimetri.
  - pH menggunakan pH meter.
  - Minyak dan lemak menggunakan metode gravimetri.
- Kondisi eksisting lokasi perencanaan untuk mengetahui kondisi terbaru lokasi perencanaan.
- Harga bahan struktur, mekanikal dan listrik untuk menganalisis kelayakan ekonomi.

4. Analisis data

Data primer dan sekunder yang terkumpul digunakan dalam perhitungan dan analisis data sebagai dasar dari perencanaan.

- Proyeksi kebutuhan air 10 tahun mendatang didapatkan kebutuhan air yang harus disediakan dan air limbah yang akan diolah.
- Curah hujan memberikan perkiraan tersedianya air baku dalam pondok pesantren MUBA

dengan mempertimbangkan evaporasi dan infiltrasi pada wilayah pondok pesantren MUBA.

- Kualitas air baku dan air limbah didapatkan alternatif unit pengolahan yang digunakan dalam pengolahan.
- Analisis air baku dilakukan di Laboratorium Pemulihan Air Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Analisis air baku meliputi:
  - Analisis parameter kualitas air baku menurut PP No.82 tahun 2001
  - Analisis parameter air limbah domestik menurut Permen LHK No.68 Tahun 2016
- Kebutuhan air akan didapatkan debit air yang harus diolah dalam perencanaan.

5. Perencanaan unit-unit pengolahan

Pengembangan unit-unit pengolahan ini dilakukan berdasarkan beberapa pertimbangan yang meliputi tata guna lahan, pengamatan kondisi lapangan yang ada dan hasil analisis data yang mengacu pada parameter standar kualitas air minum yang digunakan di Indonesia, yaitu Permenkes RI Nomor 492/Menkes/Per/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum dan Permen LHK No.68 Tahun 2016 sehingga didapatkan unit pengolahan yang tepat dan efisien dalam pengolahannya. Perencanaan pengembangan ini sendiri, diupayakan untuk tidak mengubah kondisi eksisting yang telah ada. Hal tersebut dikarenakan pertimbangan teknis dan juga ekonomi.

6. Perhitungan kelayakan ekonomi.

Kelayakan ekonomi digunakan dalam menganalisis dalam segi finansial pada pembangunan (BOQ dan RAB) maupun dalam operasi, pemeliharaan dan investasi unit pengolahan air bersih pondok

pesantren MUBA. BOQ dan RAB mengacu pada SNI harga satuan kerja dan harga satuan pokok kerja (HSPK) Kabupaten Pamekasan. Perhitungan kelayakan ekonomi menggunakan analisis *Benefit Cost Ratio* (BCR) serta berdasarkan *Net Present Value* (NPV).

#### 7. Kesimpulan dan saran

Kesimpulan dibuat setelah melakukan semua proses metode perencanaan, dan kesimpulan ini bertujuan untuk mendapatkan suatu kalimat singkat, padat, dan jelas yang dapat memberikan gambaran yang jelas terhadap detail perencanaan ini. Saran yang dibuat dalam perencanaan ini bertujuan untuk memberikan masukan dalam rangka penyediaan air bersih pondok pesantren MUBA dengan memanfaatkan sumber daya yang ada, serta memberikan rekomendasi dalam pengolahan air limbah pondok pesantren MUBA agar tidak mencemari lingkungan.



## **BAB 5**

### **PERENCANAAN RAINWATER HARVESTING DAN PENGOLAHAN AIR LIMBAH**

#### **5.1 PERENCANAAN RAINWATER HARVESTING**

##### **5.1.1 Kualitas Air Hujan**

Analisis kualitas air hujan dilakukan dengan sampling air hujan di pondok pesantren Mambaul Ulum Bata-Bata Pamekasan. Sampling dilakukan dengan menampung air hujan yang jatuh dari atap dalam botol air mineral kemudian dilakukan analisis di laboratorium. Analisis laboratorium mencakup parameter kekeruhan, TSS, pH dan suhu, dan kesadahan. Adapun hasil analisis terhadap air hujan ditunjukkan dalam tabel 5.1 berikut.

**Tabel 5.1 Hasil Analisis Air Hujan**

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu Air	Hasil Analisis	Metode Analisis
1	Kekeruhan	NTU	5	1,5	Turbidimetri
2	TSS	mg/L	500	115	Gravimetri
3	pH	-	6,5-8,5	6,8	pH meter
4	Suhu	°C	Suhu udara $\pm 3$	29,2	Termometer
5	Kesadahan	mg/L	500	75	Titration kompleksometri

*Sumber : Hasil Analisis Laboratorium*

### 5.1.2 Kuantitas Air Hujan

Kuantitas air hujan didapat dengan mengetahui *catchment area* yang merupakan luas permukaan atap yang terkena air hujan. Dalam perencanaan ini dibagi menjadi 4 blok utama, yaitu blok kompleks putra, kompleks putri, madrasah aliyah, dan madrasah ibtidaiyah.

Perhitungan *catchment area* didasarkan pada luas permukaan atap. Sehingga *catchment area* bergantung pada bentuk atap. Pada pondok Pesantren Mambaul Ulum Bata-Bata Pamekasan, secara umum bentuk bangunan dan atapnya ditunjukkan pada gambar 5.1

Dalam menghitung luas permukaan digunakan rumus sebagai berikut :

- a. Atap Flat atau datar

$$\text{Luas atap} = [p + 2(\text{overstek})] \times [l + 2(\text{overstek})]$$

- b. Atap berbentuk pelana atau perisai

$$\text{Luas atap} = [p + 2(\text{overstek})] \times [l + 2(\text{overstek})] / \cos \alpha$$



**Gambar 5.1 Miniatur Pondok Pesantren Mambaul Ulum Bata-Bata Pamekasan**

Sebagian besar bangunan di pondok pesantren Mambaul Ulum Bata-Bata Pamekasan memiliki kemiringan atap sebesar  $30^\circ$  dan overstek sebesar 0,8 m. Salah satu contoh perhitungan yang dilakukan misalkan pada bangunan Gazebo yang memiliki atap berbentuk perisai, dan dimensi bangunan 5m x 5m.

Maka didapat luas permukaan atapnya adalah :

$$\text{Luas atap} = (5+2(0,8)) \times (5+2(0,8))/\cos 30^\circ$$

$$\text{Luas atap} = 50,300 \text{ m}^2$$

Sementara pada bangunan dengan atap berbentuk flat, seperti pada musholla yang berada di area pondok putri, perhitungannya adalah sebagai berikut.

Dimensi bangunan : 28 m x 28 m

Overstek : 0,8 m

$$\text{Luas atap} = (28+2(0,8)) \times (28+2(0,8))$$

$$\text{Luas atap} = 876,16 \text{ m}^2$$

Berdasarkan rumus tersebut, didapat luas tangkapan air hujan dari atap bangunan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.2.

**Tabel 5.2 *Catchment area* dari setiap blok**

Blok	Nama bangunan	Bentuk atap	Dimensi bangunan		Overstek (m)	Kemiringan atap (o)	Luas permukaan atap (m2)	Talang air hujan
			Panjang (m)	Lebar (m)				
Madrasah Aliyah	MA 1	Pelana	42	4	0,8	30	281,940	Ada
	MA 2	Pelana	30	4	0,8	30	204,342	Ada
	MA 3	Pelana	42	4	0,8	30	281,940	Ada
	MA 4	Pelana	30	4	0,8	30	204,342	Ada
	Parkir sepeda	Pelana	8	3	0,8	30	50,993	Tidak ada
Madrasah Ibtidaiyah	MI 1	Pelana	35	4	0,8	30	236,674	Ada
	MI 2	Pelana	20	4	0,8	30	139,677	Ada
	Wartel	Pelana	5	5	0,8	30	50,300	Tidak ada
	Amnil 'Am	Perisai	5	5	0,8	30	50,300	Ada
	Gazebo	Perisai	5	5	0,8	30	50,300	Tidak ada
	Koperasi dan JPKS	Perisai	7	4	0,8	30	55,612	Ada

Lanjutan Tabel 5.2

Blok	Nama bangunan	Bentuk atap	Dimensi bangunan		Overstek (m)	Kemiringan atap (o)	Luas permukaan atap (m2)	Talang air hujan
			Panjang (m)	Lebar (m)				
Pondok Putri	Musholla	Flat	28	28	0,8	0	876,160	Ada
	API 1	Perisai	69,5	7	0,8	30	706,074	Ada
	API 2	Perisai	27	7	0,8	30	284,018	Ada
	API 3	Perisai	66	7	0,8	30	671,316	Ada
	WC	Pelana	18	2,5	0,8	30	92,794	Tidak ada
	KM ustadzah	Pelana	6	5	0,8	30	57,921	Tidak ada
	Dapur	Pelana	10	5	0,8	30	88,406	Tidak ada
	KM	Pelana	15	13	0,8	30	279,861	Tidak ada
	Keluarga	Perisai	10	8	0,8	30	128,591	Ada
	Koperasi	Perisai	7	6	0,8	30	75,473	Ada
	JPKS	Pelana	8	6	0,8	30	84,249	Ada

Lanjutan Tabel 5.2

Blok	Nama bangunan	Bentuk atap	Dimensi bangunan		Overstek (m)	Kemiringan atap (o)	Luas permukaan atap (m2)	Talang air hujan
			Panjang (m)	Lebar (m)				
Pondok Putri	Wartel Putri	Pelana	5	6	0,8	30	57,921	Ada
	Pendopo	Perisai	10	9	0,8	30	141,986	Ada
	Kantor pesantren	Perisai	5	5	0,8	30	50,300	Ada
	Abdi pesantren	Perisai	8	4	0,8	30	62,079	Ada
Pondok Putra	Kantor pesantren	Perisai	9	6	0,8	30	93,025	Ada
	Aula	Perisai	8	5	0,8	30	73,164	Ada
	Congkop putra	Perisai	10	6	0,8	30	101,801	Tidak ada
	Congkop putri	Perisai	4	5	0,8	30	42,679	Tidak ada
	KM Congkop	Perisai	8	5	0,8	30	73,164	Tidak ada

Lanjutan Tabel 5.2

Blok	Nama bangunan	Bentuk atap	Dimensi bangunan		Overstek (m)	Kemiringan atap (o)	Luas permukaan atap (m2)	Talang air hujan
			Panjang (m)	Lebar (m)				
Pondok Putra	Musholla	Perisai	96	18	0,8	30	2208,961	Ada
	BBEC	Perisai	9	7,5	0,8	30	111,386	Ada
	LPBA	Perisai	9	7,5	0,8	30	111,386	Ada
	M2KD	Perisai	30	16	0,8	30	642,217	Ada
	Perpustakaan	Perisai	6	20	0,8	30	189,561	Ada
	Blok A	Pelana	16	18	0,8	30	398,337	Ada
	Blok B	Pelana	16	18	0,8	30	398,337	Ada
	Blok C	Pelana	16	18	0,8	30	398,337	Ada
	Blok D	Pelana	16	18	0,8	30	398,337	Ada



Lanjutan tabel 5.2

Blok	Nama bangunan	Bentuk atap	Dimensi bangunan		Overstek (m)	Kemiringan atap (o)	Luas permukaan atap (m2)	Talang air hujan
			Panjang (m)	Lebar (m)				
Pondok Putra	Blok E	Pelana	16	18	0,8	30	398,337	Ada
	Blok G	Pelana	16	18	0,8	30	398,337	Ada
	Blok H	Pelana	16	18	0,8	30	398,337	Ada
	Blok I	Pelana	16	18	0,8	30	398,337	Ada
	Blok J	Pelana	16	18	0,8	30	398,337	Ada
	Blok K	Pelana	16	18	0,8	30	398,337	Ada
	Blok L	Pelana	16	18	0,8	30	398,337	Ada
	Blok M1	Pelana	8	3,5	0,8	30	56,536	Ada
	Blok M2	Pelana	8	3,5	0,8	30	56,536	Ada
	Blok N	Pelana	15	9	0,8	30	203,187	Ada
	Blok O	Pelana	15	9	0,8	30	203,187	Ada

Pondok Putra	Blok P	Pelana	15	9	0,8	30	203,187	Ada
	Blok Q	Pelana	15	9	0,8	30	203,187	Ada
	Blok R dan S	Pelana	80	2,5	0,8	30	386,328	Tidak ada

Sementara itu, volume air yang dapat diterima per tahun dihitung berdasarkan rumus pada persamaan 3.6, yaitu sebagai berikut :

$$V = (A \times Cr \times I)/(1000)$$

Dimana :

A = *catchment area* (m<sup>2</sup>)

Cr = koefisien *run off*

I = curah hujan (mm/tahun)

V = Volume (m<sup>3</sup>)

Lokasi perencanaan berada di Kecamatan Palengaan dengan nilai curah hujan sebesar 1771 mm/tahun. Sedangkan nilai koefisien *run off* yang digunakan adalah 0,9 berdasarkan material atap yang digunakan.

Berdasarkan rumus tersebut, volume yang dapat ditampung dari area Madrasah Aliyah, dengan *catchment area* sebesar 1023,557 m<sup>2</sup> adalah sebagai berikut :

$$V = (A \times Cr \times I)/(1000)$$

$$V = (1023,557 \times 0,9 \times 1771)/(1000)$$

$$V = 1631,447 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

Adapun perhitungan selengkapnya dari semua blok yang ada ditunjukkan dalam Tabel 5.3 berikut.

**Tabel 5.3 Volume Air yang Dapat Diterima per Tahun**

Blok	Catchment Area (m2)	Cr	I (mm/tahun)	Volume (m3)
Madrasah Aliyah	1023,557	0,9	1771	1631,447
Madrasah Ibtidaiyah	582,864	0,9	1771	929,027
Pondok Putri	3657,153	0,9	1771	5829,136
Pondok Putra	9341,201	0,9	1771	14888,940

*Sumber : hasil perhitungan*

Volume diatas merupakan volume total yang dapat ditampung. Namun pada perencanaan ini, volume air hujan yang akan ditampung di unit *Rainwater Harvesting* adalah air hujan yang melalui talang air hujan. Sehingga berdasarkan keberadaan talang air hujan, total volume yang dapat ditampung dari pondok pesantren Mambaul Ulum Bata-Bata Pamekasan sebesar 21862,813 m<sup>3</sup>/tahun.

### 5.1.3 Perencanaan Rainwater Harvesting

#### a. Perhitungan Kapasitas Tangki Penampung Air Hujan

Perhitungan kapasitas tangki penampung air hujan dapat dilakukan setelah menghitung debit air hujan yang dapat ditampung. Adapun rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$V_t = V \times B$$

Vt = volume bak penampung ( $\text{m}^3$ )

V = volume air hujan yang dapat diterima ( $\text{m}^3$ )

B = Kebutuhan air dalam satu bulan ( $\text{m}^3$ )

Pada perencanaan ini dibagi menjadi 4 blok utama, yaitu madrasah ailyah, madrasah ibtdaiyah, pondok putri, dan pondok putra. Namun perhitungan tangki air hujan hanya dilakukan pada asrama pondok putri dan pondok putra, dikarenakan murid di madrasah aliyah dan madrasah ibtdaiyah sudah mencakup penghuni asrama pondok putri maupun putra.

Adapun kebutuhan air menggunakan data dari dinas PU tahun 1996 yaitu sebesar 80 L/orang.hari atau  $2,4 \text{ m}^3/\text{orang.bulan}$ . sehingga perhitungan kapasitas tangki penampung air hujan ditunjukkan pada Tabel 5.4 berikut.

**Tabel 5.4 Kapasitas tangki penampung air hujan**

Blok	Jumlah orang	Volume ( $\text{m}^3$ )	Kebutuhan air ( $\text{m}^3/\text{orang.hari}$ )	Kapasitas tangki ( $\text{m}^3$ )
Pondok Putri	4347	13,708	0,08	347,76
Pondok Putra	5869	39,841	0,08	469,52

Berdasarkan perhitungan tersebut, dengan kedalaman ground reservoir 4 m, dan rasio panjang dan lebar 1:1, maka dimensi ground resevoir adalah sebagai berikut.

Pondok putri

Kapasitas tangki =  $347,76 \text{ m}^3$

Kedalaman = 4 m

$$V = A \times h$$

$$A = V/h$$

$$A = 347,76/4$$

$$A = 86,94 \text{ m}^2$$

$$A = p \times l, p:l=1:1, \text{ maka } p=l$$

$$A = p^2$$

$$P = \sqrt{86,94}$$

$$P = 9,32 \text{ m} \approx 10 \text{ m}$$

Pondok putra

Kapasitas tangki =  $469,52 \text{ m}^3$

Kedalaman = 4 m

$$V = A \times h$$

$$A = V/h$$

$$A = 469,52/4$$

$$A = 117,38 \text{ m}^2$$

$$A = p \times l, p:l=1:1, \text{ maka } p=l$$

$$A = p^2$$

$$P = \sqrt{117,38}$$

$$P = 10,83 \text{ m} \approx 11 \text{ m}$$

b. Sistem Penyaluran Air Hujan

Sistem penyaluran air hujan yang akan dibahas pada perencanaan ini adalah sistem dari talang air hujan menuju ke *ground resevoir* kemudian dipompa ke *reservoir* eksisting milik pondok.

a. Sistem talang

Sistem talang yang digunakan adalah talang eksisting yang digunakan di pondok. Talang yang digunakan berupa pipa dengan diameter 6".

b. Penyaluran dari talang ke reservoir

Penyaluran dari talang menuju reservoir juga menggunakan pipa. Adapun diameter pipa yang digunakan dihitung menggunakan rumus Hazen William pada persamaan 3.13 yaitu :

$$H_f = \frac{L}{(0,00155 \times C \times D^{2,63})^{1,85}} Q^{1,85}$$

Adapun headloss dari saluran air hujan dihitung dengan cara :

$H_f$  = beda tinggi/panjang saluran

Sehingga didapat perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 5.5 berikut.

**Tabel 5.5 Headloss saluran pondok putri**

Jalur pipa	panjang (m)	beda tinggi (m)	Slope	hf
A-B	27	0,1	0,004	0,1
B-D	66	0,2	0,003	0,2
A-C	69,5	0,2	0,003	0,2
C-D	28,5	0,1	0,004	0,1
D-Reservoir	6,2	0,1	0,016	0,1

Sumber : hasil perhitungan

Berdasarkan data headloss tersebut, maka dilakukan perhitungan diameter pipa air yang digunakan, yang ditunjukkan oleh Tabel 5.6

**Tabel 5.6 Diameter pipa air hujan yang digunakan di pondok putri**

Jalur pipa	panjang (m)	C	Q (m <sup>3</sup> /hari)	Hf	D(cm)
A-B	27	110	1,2	0,1	17,26
B-D	66	110	2,9	0,2	25,98
A-C	69,5	110	3,1	0,2	27,17



Jalur pipa	panjang (m)	C	Q (m <sup>3</sup> /hari)	Hf	D(cm)
C-D	28,5	110	3,8	0,1	27,23
D-Reservoir	6,2	110	11	0,1	22,87

Sumber : hasil perhitungan

**Tabel 5.7 Headloss saluran pada pondok putra**

Jalur pipa	panjang (m)	beda tinggi (m)	Slope	hf
E-F	90	0,1	0,001	0,1
F-G	84	0,2	0,002	0,2
H-I	28	0,2	0,007	0,2
I-J	18	0,1	0,006	0,1
J-G	42	0,1	0,002	0,1
G-Reservoir	6	0,1	0,017	0,1

Sumber : hasil perhitungan

**Tabel 5.8 Diameter pipa yang digunakan di pondok putra**

Jalur pipa	panjang (m)	C	Q (m <sup>3</sup> /hari)	Hf	D(cm)
E-F	90	110	3,29	0,1	39,8
F-G	84	110	7,64	0,2	41,02
H-I	28	110	2,89	0,2	18,78
I-J	18	110	4,37	0,1	24,13

Jalur pipa	panjang (m)	C	Q (m <sup>3</sup> /hari)	Hf	D(cm)
J-G	42	110	1,40	0,1	21,62
G-Reservoir	6	110	19,58	0,1	28,07

Sumber : hasil perhitungan

c. Ground reservoir ke reservoir eksisting

Dari ground reservoir menuju reservoir eksisting dilakukan dengan pemompaan.

## 5.2 PERENCANAAN PENGOLAHAN AIR LIMBAH

### 5.2.1 Kualitas Air Limbah

Perencanaan air limbah dibagi menjadi dua blok, yaitu blok pondok putra (blok I) dan pondok putri (blok II). Limbah yang dihasilkan di masing-masing blok berupa *grey water* dan *black water*. Selama ini *Black water* diolah dengan menggunakan tangki septik, sementara *grey water* langsung dibuang ke saluran drainase.

Pada perencanaan ini, kualitas *grey water* didapat dengan cara uji laboratorium. Adapun karakteristik *grey water* pondok putra adalah sebagai berikut :

pH = 7,00

TSS = 190 mg/L

COD = 148 mg/L

BOD = 90 mg/L

Minyak & lemak = 16 mg/L

Karakteristik *grey water* pondok putri

pH = 7,65

TSS = 334 mg/L

COD = 394 mg/L

BOD = 240 mg/L

Minyak & lemak = 46 mg/L

#### 5.2.2 Kuantitas Air Limbah

Pada perencanaan ini, debit air limbah didapat dari 80% kebutuhan air bersih. Adapun perhitungan kebutuhan air bersih didasarkan pada jumlah penghuni dengan cara :

$Q_d = (\text{jumlah penghuni} \times \text{pemakaian air rata-rata sehari})$

Adapun pemakaian air rata-rata sehari mengacu pada kriteria perencanaan dari Ditjen Cipta Karya Dinas PU (1996), yaitu :

Rumah

Pemakaian air rata-rata perhari = 80 L

Berdasarkan data tersebut didapat jumlah kebutuhan air dari masing-masing blok sebagai berikut :

**Tabel 5.9 Hasil perhitungan debit berdasarkan jumlah penghuni**

Blok	Jumlah penghuni (orang)	Pemakaian air rata-rata sehari (L)	pemakaian air rata-rata per hari Q (L/hari)
	a	b	c = axb
Pondok Putri	4347	80	347760
Pondok Putra	5869	80	469520

*Sumber : hasil perhitungan*

Berdasarkan data tersebut maka didapat debit air limbah yang dihasilkan dari setiap blok adalah sebagai berikut.

Pondok putri

$$\begin{aligned}Q &= 347760 \text{ L/hari} \times 80\% \\&= 278208 \text{ L/hari} \\&= 278,208 \text{ m}^3/\text{hari}\end{aligned}$$

Pondok putra

$$\begin{aligned}Q &= 469520 \text{ L/hari} \times 80\% \\&= 375616 \text{ L/hari} \\&= 375,616 \text{ m}^3/\text{hari}\end{aligned}$$

### 5.2.3 Perencanaan ABR

Pengolahan air limbah yang dipilih berupa *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR). Hal ini dikarenakan biaya pengolahan yang murah dan perawatan yang mudah. Selain itu, ABR cocok digunakan untuk mengolah limbah dengan debit yang

tidak terlalu besar. Konstruksi bangunan mudah sehingga tidak memerlukan tenaga terlatih.

Pada perencanaan ini direncanakan akan dibangun unit ABR di masing-masing blok. Hal ini dikarenakan lokasi blok yang cukup jauh serta mempertimbangkan ketersediaan lahan. Perencanaan ABR dibangun pada blok pondok putri dan pondok putra.

Pondok putri

$$\begin{aligned} Q_{\text{limbah}} &= 278208 \text{ L/hari} \\ &= 278,208 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Adapun kualitas air limbah yang akan diolah :

$$\text{TSS} = 334 \text{ mg/L}$$

$$\text{COD} = 394 \text{ mg/L}$$

$$\text{BOD} = 240 \text{ mg/L}$$

Adapun Kriteria desain *Anaerobic Baffled Reactor* yang akan digunakan dalam perencanaan dapat dilihat pada Tabel 5.5

**Tabel 5.10 Kriteria Desain ABR**

No	Kriteria Desain	Nilai satuan
1	COD	65-95%

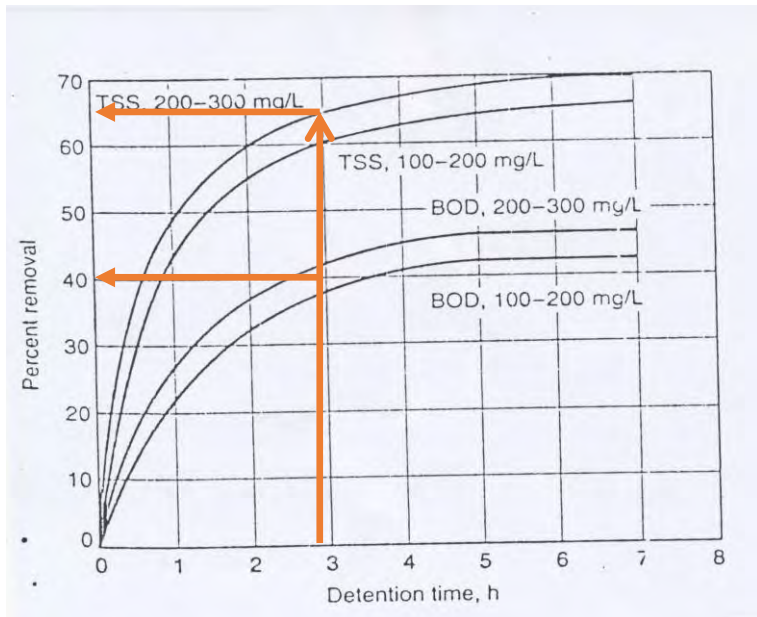
2	BOD	70-95%
3	Kecepatan upflow	0,7 – 1,6 m/jam
4	Beban Organik	<3.0 kg COD/m <sup>3</sup> .hari
5	HRT	8-20 jam
6	HLR	16,8-38,4 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .hari

Sementara itu, efisiensi removal dari Anaerobic Baffled Reactor didapat dari grafik antara waktu detensi dengan efisiensi removal BOD dan TSS sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 5.2. Unit dalam ABR terdiri dari bak pengendapan (kompartemen 1) dan bak-bak degradasi anaerobik (kompartemen 2 dan seterusnya)

Perhitungan ABR

#### Kompartemen 1

Direncanakan waktu detensi di kompartemen 1 adalah 3 jam. Sehingga harus diplotkan terhadap grafik hubungan waktu detensi dengan presentase penyisihan TSS, BOD, dan COD berikut ini.



**Gambar 5.2 efisiensi penyisihan berdasarkan kadar BOD dan TSS**

Berdasarkan grafik tersebut, diperoleh efisiensi penyisihan:

BOD = 44 %

COD = 44 %

TSS = 65 %

Efisiensi penyisihan tersebut digunakan untuk menghitung kualitas effluen dari kompartemen 1 dengan cara:

$$(1 - \% \text{efisiensi}) \times \text{konsentrasi limbah}$$

Sehingga didapat kualitas effluen dari kompartemen 1 adalah sebagai berikut:

**Tabel 5.11 Karakteristik effluen air limbah di kompartemen 1**

Karakteristik Effluen air limbah Kompartemen 1		
BOD eff	134,4	mg/L
COD eff	220,6	mg/L
TSS eff	116,9	mg/L

Sumber : hasil perhitungan

Dihitung pula kesetimbangan massa (*mass balance*) endapan dengan cara mengalikan antara debit air limbah dengan konsentrasi limbah dan efisiensi penyisihan. Sehingga didapat *mass balance* sebagaimana yang ditunjukkan oleh Tabel 5.12.

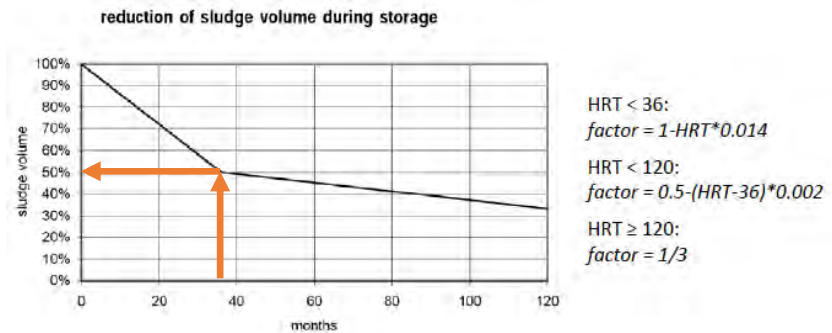
**Tabel 5.12 Mass balance di kompartemen 1**

Mass Balance Endapan	
BOD mengendap	29,38 kg/hari
COD mengendap	48,23 kg/hari
TSS mengendap	60,40 kg/hari
<b>TOTAL endapan</b>	<b>108,63 kg/hari</b>

Sumber : hasil perhitungan

Direncanakan pengurusan ABR selama 3 tahun sekali. Sehingga berdasarkan grafik didapat produksi lumpur yang dihasilkan sebesar 50%.





**Gambar 5.3 Produksi lumpur berdasarkan *Hidraulic Retention Time***

Massa lumpur yang dihasilkan selama 3 tahun =

(1-%produksi lumpur) x TSS mengendap x 3 x 365

Massa lumpur yang dihasilkan = 16084,87 kg/3 tahun

Direncanakan kadar solid dalam lumpur sebesar 8% dengan densitas 2,65 kg/L. Sehingga didapat densitas lumpur dengan cara:

Densitas lumpur = (kadar solid x densitas padatan + kadar air x densitas air)/ 100%

Densitas lumpur =  $(5\% \times 2,65 + 95\% \times 1)/100\%$

Densitas lumpur = 1,13 kg/L

Berdasarkan  $V = \text{massa}/\text{densitas}$ , maka didapat volume lumpur yang dihasilkan sebesar 14209,25 L atau 14,21 m<sup>3</sup>

### Ruang lumpur

Dengan asumsi tinggi ruang lumpur sebesar 1 m dan lebar bak 4 m, maka didapat panjang ruang lumpur sebagai berikut:

$$\text{Panjang} = \frac{\text{volume lumpur}}{(\text{tinggi ruang lumpur} \times \text{lebar bak})}$$

$$\text{Panjang} = \frac{14,21 \text{ m}^3}{(1 \times 4) \text{ m}}$$

$$\text{Panjang} = 3,55 \text{ m} \approx 3,6 \text{ m}$$

### Ruang pengendapan

$$\text{Vruang pengendapan} = (\text{debit} \times \text{td}) / 24 \text{ jam}$$

$$\text{Vruang pengendapan} = (278,208 \text{ m}^3/\text{hari} \times 3 \text{ jam}) / 24 \text{ jam}$$

$$\text{Vruang pengendapan} = 34,776 \text{ m}^3$$

Dengan asumsi tinggi ruang pengendapan 2,5 m dan lebar 4 m, maka didapat panjang ruang pengendapan dengan cara :

$$\text{Panjang} = \text{Volume} / (\text{tinggi} \times \text{lebar})$$

$$\text{Panjang} = 34,776 \text{ m}^3 / (2,5 \text{ m} \times 4 \text{ m})$$

$$\text{Panjang} = 3,48 \text{ m}$$

Kemudian dilakukan koreksi terhadap tinggi ruang pengendapan dengan syarat panjang ruang pengendapan lebih kecil dari panjang ruang lumpur. Pada perencanaan ini panjang ruang pengendapan sebesar 3,48 m lebih kecil dari panjang ruang lumpur sebesar 3,6 m, sehingga syarat ini

terpenuhi. Maka tinggi ruang pengendapan adalah hasil bagi antara volume pengendapan dengan tinggi dikalikan lebar bak, sehingga didapat tinggi aktual ruang pengendapan :

Tinggi = volume / panjang x lebar

Tinggi =  $34,776 \text{ m}^3 / (3,6 \text{ m} \times 4 \text{ m})$

Tinggi =  $2,42 \text{ m} \approx 2,5 \text{ m}$

Dimensi Kompartemen 1

Panjang = panjang ruang lumpur = 3,6 m

Lebar = 4 m

Tinggi = tinggi lumpur + tinggi pengendapan = 3,5 m

#### Perhitungan jumlah kompartemen

Karakteristik effluen kompartemen 1 menjadi influen pada kompartemen berikutnya.

Karakteristik influen air limbah pada kompartemen 2 :

BOD<sub>in</sub> = 134,4 mg/L

COD<sub>in</sub> = 220,6 mg/L

TSS<sub>in</sub> = 116,9 mg/L

Menurut Sasse (1998), desain kriteria ABR adalah sebagai berikut:

- HRT = 8 sampai 20 jam

- HLR = 16,8 sampai 38,4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.hari
- V<sub>up</sub> = 0,7 sampai 1,6 m/jam

Diasumsikan:

$$\text{HRT} = 15 \text{ jam}$$

$$\text{HLR} = 17,8 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$$

$$\text{Luas kompartemen (A)} = Q / \text{HLR}$$

$$\text{Luas kompartemen (A)} = 278,208 \text{ m}^3/\text{hari} / 17,8 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$$

$$\text{Luas kompartemen (A)} = 15,63 \text{ m}^2$$

$$\text{Panjang kompartemen} = A / \text{lebar}$$

$$\text{Panjang kompartemen} = 15,63 \text{ m}^2 / 4 \text{ m}$$

$$\text{Panjang kompartemen} = 3,91 \text{ m} \approx 4 \text{ m}$$

$$A \text{ koreksi} = \text{panjang} \times \text{lebar}$$

$$A \text{ koreksi} = 4 \times 4 = 16 \text{ m}^2$$

$$H \text{ total} = (\text{HLR} \times \text{HRT}) / 24 \text{ jam}$$

$$H \text{ total} = (17,8 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari} \times 15 \text{ jam}) / 24 \text{ jam}$$

$$H \text{ total} = 11,13 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah kompartemen} = H_{\text{total}} / \text{kedalaman}$$

$$\text{Jumlah kompartemen} = 11,13 \text{ m} / 3,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah kompartemen} = 3,18 \approx 4 \text{ kompartemen}$$

Dilakukan cek terhadap  $V_{up}$ ,  $V_{ABR}$  dan HRT

$$V_{up} = 17,39 \text{ m/hari} = 0,72 \text{ m/jam}$$

Menurut Sasse(1998)  $V_{up}$  antara 0,7 sampai 1,6 m/jam, sehingga  $V_{up}$  memenuhi.

$V_{ABR} = \text{panjang} \times \text{lebar} \times \text{kedalaman} \times \text{jumlah kompartemen}$

$$V_{ABR} = 224 \text{ m}^3$$

$$\text{HRT} = V_{ABR} / Q$$

$$\text{HRT} = 224 \text{ m}^3 / 278,208 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{HRT} = 0,81 \text{ hari} = 19,32 \text{ jam (memenuhi)}$$

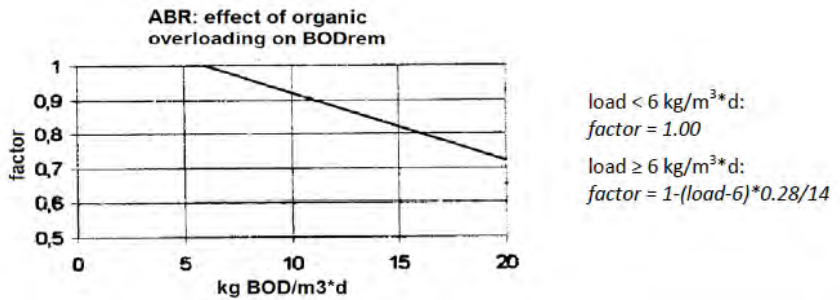
Berdasarkan koreksi tersebut sehingga ditetapkan dimensi kompartemen 2 dan seterusnya sebagai berikut :

$$\text{Panjang} = 4 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 4 \text{ m}$$

$$\text{Kedalaman} = 3,5 \text{ m}$$

Perhitungan produksi lumpur



**Gambar 5.4 Grafik *Organic Loading* terhadap faktor BOD removal**

Beban organik pada perencanaan ini sebesar 0,17 kg/m³.hari, hal ini didapat dengan cara :

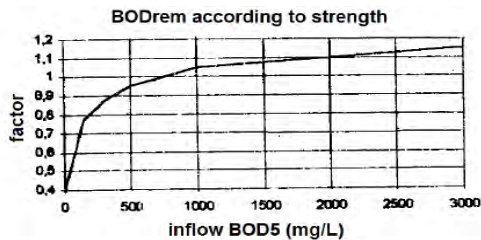
$$\text{Beban organik} = \text{BOD}/\text{HRT}$$

$$\text{Beban organik} = 134,4 \text{ mg/L} / 15 \text{ jam}$$

$$\text{Beban organik} = 0,17 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{hari}$$

Nilai beban organik kurang dari 6 kg/m³.hari, sehingga berdasarkan grafik 5.4, maka nilai faktornya adalah 1.

- Kadar BOD<sub>in</sub>  
BOD<sub>in</sub> = 134,4 mg/L



$BOD_{in} < 150 \text{ mg/L}$ :  
 $factor = BOD_{in} \cdot 0.37/150 + 0.4$   
 $BOD_{in} < 300 \text{ mg/L}$ :  
 $factor = (BOD_{in} - 150) \cdot 0.1/150 + 0.77$   
 $BOD_{in} < 500 \text{ mg/L}$ :  
 $factor = (BOD_{in} - 300) \cdot 0.08/200 + 0.87$   
 $BOD_{in} < 1000 \text{ mg/L}$ :  
 $factor = (BOD_{in} - 500) \cdot 0.1/500 + 0.95$   
 $BOD_{in} < 3000 \text{ mg/L}$ :  
 $factor = (BOD_{in} - 1000) \cdot 0.1/2000 + 1.05$   
 $BOD_{in} \geq 3000 \text{ mg/L}$ :  
 $factor = 1.15$

**Gambar 5.5 Grafik kadar BOD influen dengan faktor BOD removal**

$BOD_{in} < 150 \text{ mg/L}$ , maka nilai faktor BOD removal dihitung dengan cara:

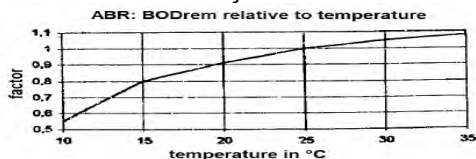
$$\text{Faktor} = BOD_{in} \times 0,37/150 + 0,4$$

$$\text{Faktor} = 134,4 \times 0,37/150 + 0,4$$

$$\text{Faktor} = 0,73$$

- Suhu

Diasumsikan suhunya adalah  $25^{\circ}\text{C}$ .



$temp < 15^{\circ}\text{C}$ :  
 $factor = (temp - 10) \cdot 0.25/5 + 0.55$   
 $temp < 20^{\circ}\text{C}$ :  
 $factor = (temp - 15) \cdot 0.11/5 + 0.8$   
 $temp < 25^{\circ}\text{C}$ :  
 $factor = (temp - 20) \cdot 0.09/5 + 0.91$   
 $temp < 30^{\circ}\text{C}$ :  
 $factor = (temp - 25) \cdot 0.05/5 + 1$   
 $temp \geq 30^{\circ}\text{C}$ :  
 $factor = (temp - 30) \cdot 0.03/5 + 1.05$

**Gambar 5.6 Grafik suhu dengan faktor BOD removal**

Suhu  $< 30^{\circ}\text{C}$ , sehingga faktor BOD removalnya dihitung dengan cara :

$$\text{Faktor} = (\text{Temperatur} - 25) \times 0,05/5 + 1$$

$$\text{Faktor} = (25 - 25) \times 0,05/5 + 1$$

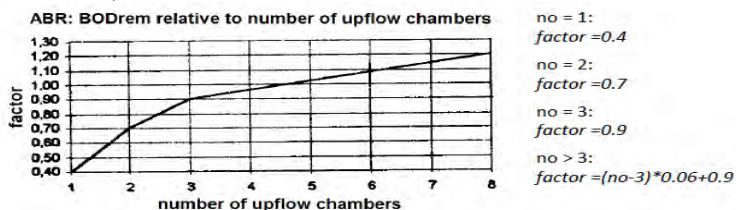
$$\text{Faktor} = 1$$

- Jumlah Kompartemen  
Jumlah kompartemen ABR yang direncanakan adalah 4 unit. Sehingga nilai faktor BOD removal dihitung dengan cara :

$$\text{Faktor} = (\text{Jumlah kompartemen} - 3) \times 0,06 + 0,9$$

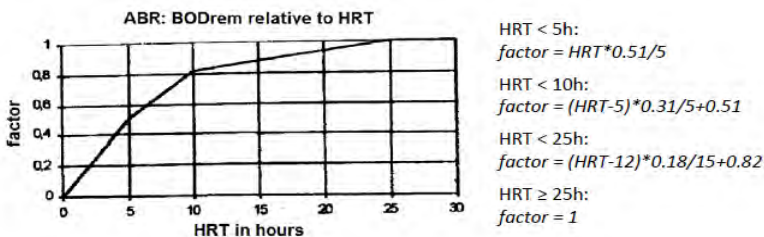
$$\text{Faktor} = (4-3) \times 0,06 + 0,9$$

$$\text{Faktor} = 0,96$$



**Gambar 5.7 Grafik antara jumlah kompartemen dengan faktor BOD removal**

- HRT  
HRT ABR = 18,84 jam



**Gambar 5.8 Grafik antara HRT dengan faktor BOD removal**

HRT < 25 jam sehingga nilai faktor BOD removal dihitung dengan cara:

$$\text{Faktor} = (\text{HRT} - 12) \times 0,18 / 15 + 0,82$$

$$\text{Faktor} = (18,84-12) \times 0,18 / 15 + 0,82$$

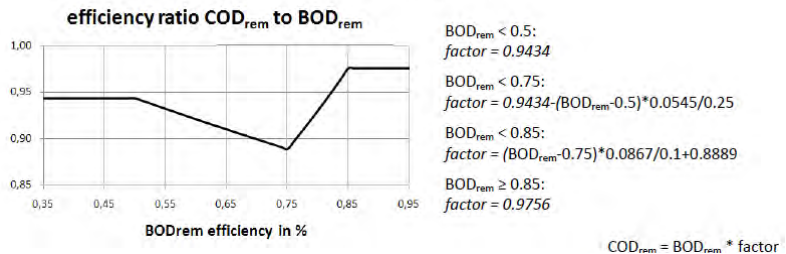
$$\text{Faktor} = 0,90$$



Kemudian ditentukan efisiensi removal BOD dengan cara mengalikan semua faktor-faktor di atas.

Sehingga didapat nilai efisiensi removal BOD = 0,63

Adapun faktor efisiensi removal COD mengacu pada grafik berikut.



**Gambar 5.9 Grafik antara efisiensi removal BOD dan efisiensi removal COD**

Efisiensi penyisihan BOD 0,63 yang kurang dari 0,75,

maka efisiensi penyisihan COD dihitung dengan cara :

Efisiensi COD = 0,9434 - (BODrem-0,5) x 0,0545/0,25

Efisiensi COD = 0,9434 - (0,63-0,5) x 0,5454/0,25

Efisiensi COD = 0,58

### Mass Balance ABR

- Produksi lumpur BOD

Range koefisien yield :  $\gamma = 0,05 - 1$  ( yang digunakan 0,08)

Produksi lumpur BOD =  $\gamma \times \text{efisiensi rem BOD} \times Q \times \text{BODin}$

Produksi lumpur BOD = 1,89 kg/hari

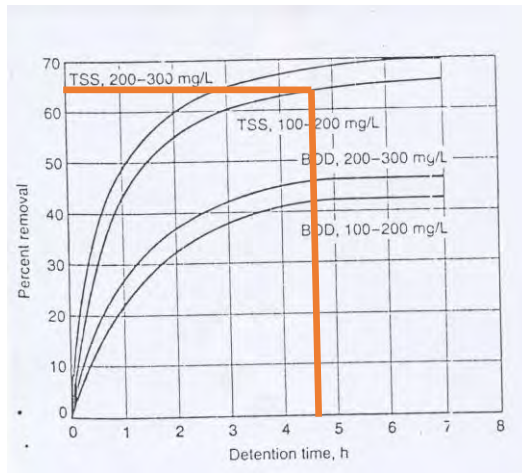
Produksi lumpur COD = efisiensi rem COD x Q x CODin

Produksi lumpur COD = 35,55 kg/hari

- Produksi lumpur TSS

$T_d$  tiap kompartemen = HRT/ h

$T_d$  tiap kompartemen = 4,71 jam



**Gambar 5. 10 Grafik persen removal antara waktu detensi terhadap TSS**

Removal TSS = 65%

$TSS_{effluent} = ((1 - \text{rem TSS})^{\text{jumlah kompartemen}}) \times TSS_{in}$

$TSS_{effluent} = (1 - 0,65)^4 \times 116,9$

$TSS_{effluent} = 1,75 \text{ mg/L}$

$\text{Produksi lumpur TSS} = (TSS_{in} - TSS_{eff}) \times Q$

$\text{Produksi lumpur TSS} = (116,9 - 1,75) \times 278208 \text{ L/hari}$

$\text{Produksi lumpur TSS} = 32,03 \text{ kg/hari}$

Mass balance ABR

BOD = 28,8 mg/L

COD = 92,8 mg/L

TSS = 1,8 mg/L

Pondok putra

Qlimbah = 375616 L/hari

= 375,616 m<sup>3</sup>/hari

Adapun kualitas air limbah yang akan diolah :

TSS = 190 mg/L

COD = 148 mg/L

BOD = 90 mg/L

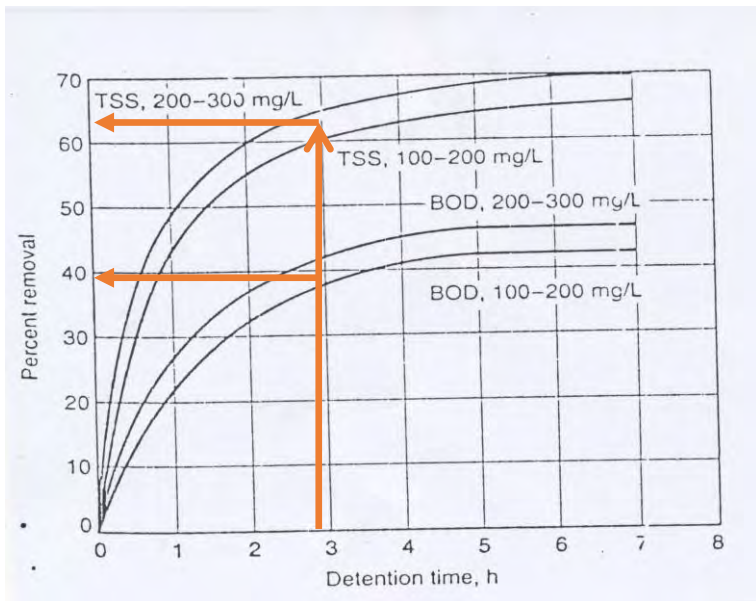
Adapun Kriteria desain *Anaerobic Baffled Reactor* yang akan digunakan dalam perencanaan sama dengan perencanaan ABR pada pondok putri yang tercantum pada Tabel 5.5.

Sementara itu, efisiensi removal dari *Anaerobic Baffled Reactor* didapat dari grafik antara waktu detensi dengan efisiensi removal BOD dan TSS sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 5.11. Unit dalam ABR terdiri dari bak pengendapan (kompartemen 1) dan bak-bak degradasi anaerobik (kompartemen 2 dan seterusnya)

## Perhitungan ABR

### Kompartemen 1

Direncanakan waktu detensi di kompartemen 1 adalah 3 jam. Sehingga harus diplotkan terhadap grafik hubungan waktu detensi dengan presentase penyisihan TSS, BOD, dan COD berikut ini.



**Gambar 5.11 efisiensi penyisihan berdasarkan kadar BOD dan TSS**

Berdasarkan grafik tersebut, diperoleh efisiensi penyisihan:

BOD = 44 %

COD = 44 %

TSS = 65 %

Efisiensi penyisihan tersebut digunakan untuk menghitung kualitas effluen dari kompartemen 1 dengan cara:

$$(1 - \% \text{efisiensi}) \times \text{konsentrasi limbah}$$

Sehingga didapat kualitas effluen dari kompartemen 1 adalah sebagai berikut:

**Tabel 5.13 Karakteristik effluen air limbah di kompartemen 1**

Karakteristik Effluen air limbah Kompartemen 1		
BOD eff	50,4	mg/L
COD eff	82,9	mg/L
TSS eff	66,5	mg/L

Sumber : hasil perhitungan

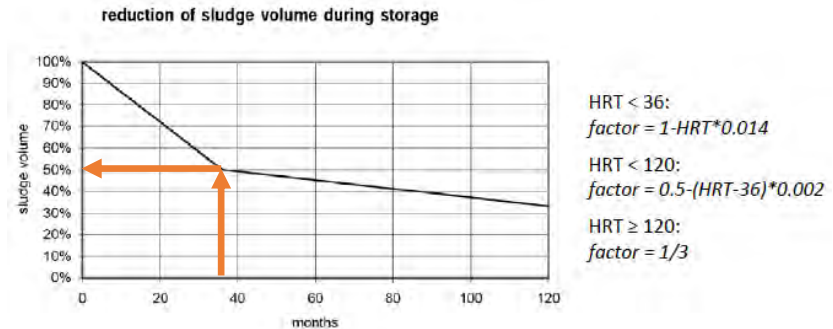
Dihitung pula kesetimbangan massa (*mass balance*) endapan dengan cara mengalikan antara debit air limbah dengan konsentrasi limbah dan efisiensi penyisihan. Sehingga didapat *mass balance* sebagaimana yang ditunjukkan oleh Tabel 5.14.

**Tabel 5.14 Mass balance di kompartemen 1**

Mass Balance Endapan	
BOD mengendap	14,87 kg/hari
COD mengendap	24,46 kg/hari
TSS mengendap	46,39 kg/hari
TOTAL endapan	70,85 kg/hari

Sumber : hasil perhitungan

Direncanakan pengurasan ABR selama 3 tahun sekali. Sehingga berdasarkan grafik didapat produksi lumpur yang dihasilkan sebesar 50%.



**Gambar 5.12 Produksi lumpur berdasarkan *Hidraulic Retention Time***

Massa lumpur yang dihasilkan selama 3 tahun =

(1-%produksi lumpur) x TSS mengendap x 3 x 365

Massa lumpur yang dihasilkan = 25397,745 kg/3 tahun

Direncanakan kadar solid dalam lumpur sebesar 5% dengan densitas 2,65 kg/L. Sehingga didapat densitas lumpur dengan cara:

Densitas lumpur = (kadar solid x densitas padatan + kadar air x densitas air)/ 100%

Densitas lumpur = (5% x 2,65 + 95% x 1)/100%

Densitas lumpur = 1,08 kg/L

Berdasarkan  $V = \text{massa/densitas}$ , maka didapat volume lumpur yang dihasilkan sebesar 23462,12 L atau 23,46 m<sup>3</sup>

Ruang lumpur

Dengan asumsi tinggi ruang lumpur sebesar 1 m dan lebar bak 4 m, maka didapat panjang ruang lumpur sebagai berikut:

$$\text{Panjang} = \frac{\text{volume lumpur}}{(\text{tinggi ruang lumpur} \times \text{lebar bak})}$$

$$\text{Panjang} = \frac{46,64 \text{ m}}{1 \times 4 \text{ m}}$$

$$\text{Panjang} = 5,87 \text{ m} \approx 5,9 \text{ m}$$

Ruang pengendapan

$$\text{Vruang pengendapan} = (\text{debit} \times \text{td})/24 \text{ jam}$$

$$\text{Vruang pengendapan} = (375,616 \text{ m}^3/\text{hari} \times 3 \text{ jam})/24 \text{ jam}$$

$$\text{Vruang pengendapan} = 46,95 \text{ m}^3$$

Dengan asumsi tinggi ruang pengendapan 2,5 m dan lebar 4 m, maka didapat panjang ruang pengendapan dengan cara :

$$\text{Panjang} = \text{Volume} / (\text{tinggi} \times \text{lebar})$$

$$\text{Panjang} = 46,95 \text{ m}^3 / (2,5 \text{ m} \times 4 \text{ m})$$

$$\text{Panjang} = 4,70 \text{ m}$$

Kemudian dilakukan koreksi terhadap tinggi ruang pengendapan dengan syarat panjang ruang pengendapan lebih kecil dari panjang ruang lumpur. Pada perencanaan ini panjang ruang pengendapan sebesar 4,70 m lebih kecil dari panjang ruang lumpur sebesar 5,90 m, sehingga syarat ini terpenuhi. Maka tinggi ruang pengendapan adalah hasil bagi antara volume pengendapan dengan tinggi dikalikan lebar bak, sehingga didapat tinggi aktual ruang pengendapan :

Tinggi = volume / panjang x lebar

Tinggi =  $46,95 \text{ m}^3 / (5,90 \text{ m} \times 4 \text{ m})$

Tinggi =  $1,99 \text{ m} \approx 2 \text{ m}$

#### Dimensi Kompartemen 1

Panjang = panjang ruang lumpur = 5,90 m

Lebar = 4 m

Tinggi = tinggi lumpur + tinggi pengendapan = 3 m

#### Perhitungan jumlah kompartemen

Karakteristik effluen kompartemen 1 menjadi influen pada kompartemen berikutnya.

Karakteristik influen air limbah pada kompartemen 2 :

BOD<sub>in</sub> = 50,4 mg/L



$$\text{CODin} = 82,9 \text{ mg/L}$$

$$\text{TSSin} = 66,5 \text{ mg/L}$$

Menurut Sasse (1998), desain kriteria ABR adalah sebagai berikut:

- HRT = 8 sampai 20 jam
- HLR = 16,8 sampai 38,4  $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$
- $V_{\text{up}}$  = 0,7 sampai 1,6 m/jam

Diasumsikan:

$$\text{HRT} = 12 \text{ jam}$$

$$\text{HLR} = 18 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$$

$$\text{Luas kompartemen (A)} = Q / \text{HLR}$$

$$\text{Luas kompartemen (A)} = 375,616 / \text{hari} / 18 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$$

$$\text{Luas kompartemen (A)} = 20,86 \text{ m}^2$$

$$\text{Panjang kompartemen} = A / \text{lebar}$$

$$\text{Panjang kompartemen} = 20,86 \text{ m}^2 / 4 \text{ m}$$

$$\text{Panjang kompartemen} = 5,22 \text{ m} \approx 5,3 \text{ m}$$

$$A \text{ koreksi} = \text{panjang} \times \text{lebar}$$

$$A \text{ koreksi} = 5,3 \times 4 = 21,2 \text{ m}^2$$

$$H \text{ total} = (\text{HLR} \times \text{HRT}) / 24 \text{ jam}$$

$$H \text{ total} = (18 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari} \times 12 \text{ jam})/24 \text{ jam}$$

$$H \text{ total} = 9 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah kompartemen} = H_{\text{total}}/\text{kedalaman}$$

$$\text{Jumlah kompartemen} = 9 \text{ m} / 3 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah kompartemen} = 3 \text{ kompartemen}$$

Dilakukan cek terhadap  $V_{up}$ ,  $V_{ABR}$  dan HRT

$$V_{up} = 17,72 \text{ m/hari} = 0,74 \text{ m/jam}$$

Menurut Sasse(1998)  $V_{up}$  antara 0,7 sampai 1,6 m/jam, sehingga  $V_{up}$  memenuhi.

$$V_{ABR} = \text{panjang} \times \text{lebar} \times \text{kedalaman} \times \text{jumlah kompartemen}$$

$$V_{ABR} = 190,8 \text{ m}^3$$

$$\text{HRT} = V_{ABR} / Q$$

$$\text{HRT} = 190,8 \text{ m}^3/375,616 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{HRT} = 0,51 \text{ hari} = 12,19 \text{ jam (memenuhi)}$$

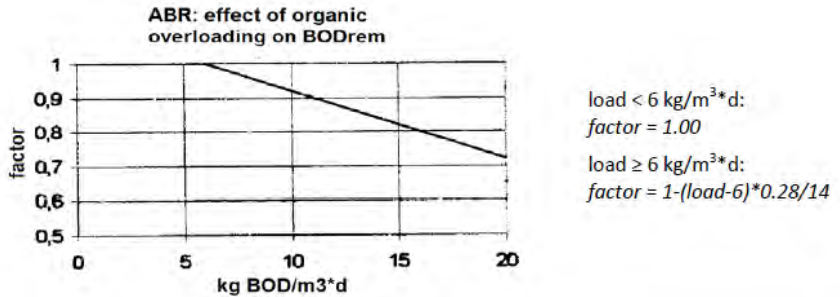
Berdasarkan koreksi tersebut sehingga ditetapkan dimensi kompartemen 2 dan seterusnya sebagai berikut :

$$\text{Panjang} = 5,3 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 4 \text{ m}$$

$$\text{Kedalaman} = 3 \text{ m}$$

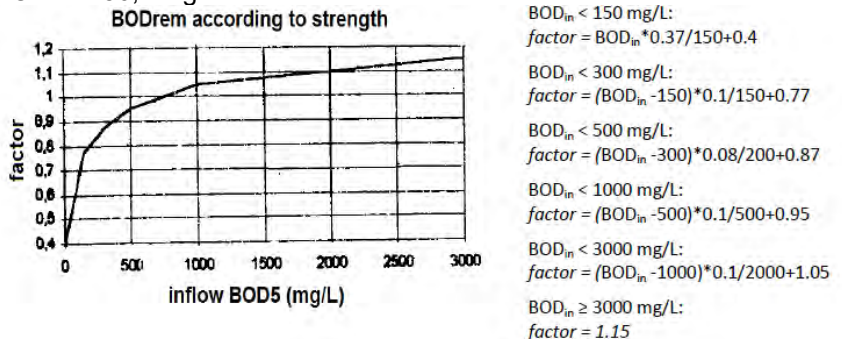
Perhitungan produksi lumpur



**Gambar 5.13 Grafik Organic Loading terhadap faktor BOD removal**

Beban organik pada perencanaan ini sebesar 0,10 kg/m<sup>3</sup>.hari, hal ini didapat dari pembagian antara BOD dengan HRT. Nilai beban organik kurang dari 6 kg/m<sup>3</sup>.hari, sehingga berdasarkan grafik 5.4, maka nilai faktornya adalah 1.

- Kadar BOD<sub>in</sub>  
BOD<sub>in</sub> = 50,4 mg/L



**Gambar 5.14 Grafik kadar BOD influen dengan faktor BOD removal**

BODin < 150 mg/L, maka nilai faktor BOD removal dihitung dengan cara:

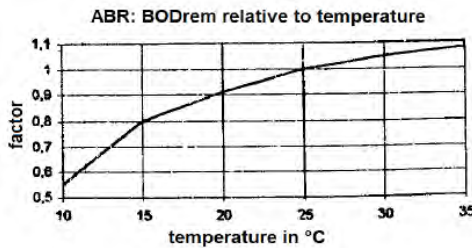
$$\text{Faktor} = \text{BODin} \times 0,37/150 + 0,4$$

$$\text{Faktor} = 50,4 \times 0,37/150 + 0,4$$

$$\text{Faktor} = 0,703$$

- Suhu

Diasumsikan suhunya adalah 25°C.



temp < 15 °C:

$$\text{factor} = (\text{temp}-10) \times 0.25/5 + 0.55$$

temp < 20 °C:

$$\text{factor} = (\text{temp}-15) \times 0.11/5 + 0.8$$

temp < 25 °C:

$$\text{factor} = (\text{temp}-20) \times 0.09/5 + 0.91$$

temp < 30 °C:

$$\text{factor} = (\text{temp}-25) \times 0.05/5 + 1$$

temp ≥ 30 °C:

$$\text{factor} = (\text{temp}-30) \times 0.03/5 + 1.05$$

**Gambar 5.15 Grafik suhu dengan faktor BOD removal**

Suhu < 30°C, sehingga faktor BOD removalnya dihitung dengan cara :

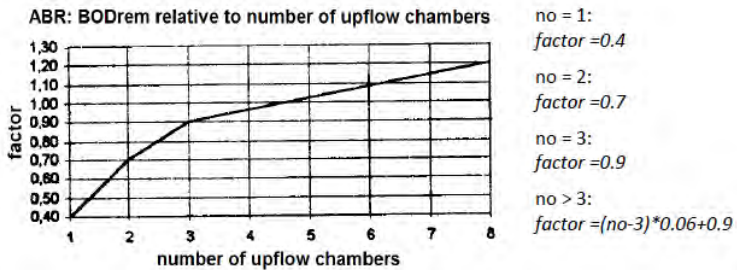
$$\text{Faktor} = (\text{Temperatur}-25) \times 0,05/5 + 1$$

$$\text{Faktor} = (25-25) \times 0,05/5 + 1$$

$$\text{Faktor} = 1$$

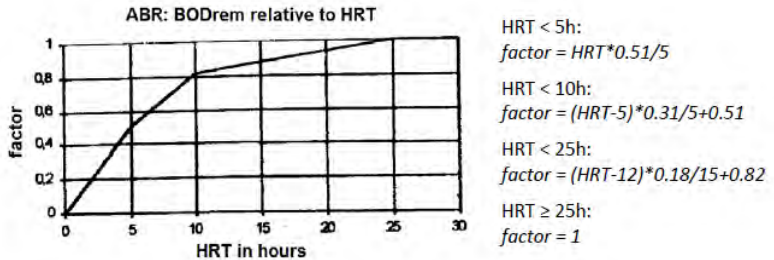
- Jumlah Kompartemen

Jumlah kompartemen ABR yang direncanakan adalah 3 unit. Sehingga nilai faktor BOD removalnya adalah 0,9.



**Gambar 5.16 Grafik antara jumlah kompartemen dengan faktor BOD removal**

- HRT  
HRT ABR = 12,19 jam



**Gambar 5.17 Grafik antara HRT dengan faktor BOD removal**

HRT < 25 jam sehingga nilai faktor BOD removal dihitung dengan cara:

$$\text{Faktor} = (HRT - 12) \times 0,18 / 15 + 0,82$$

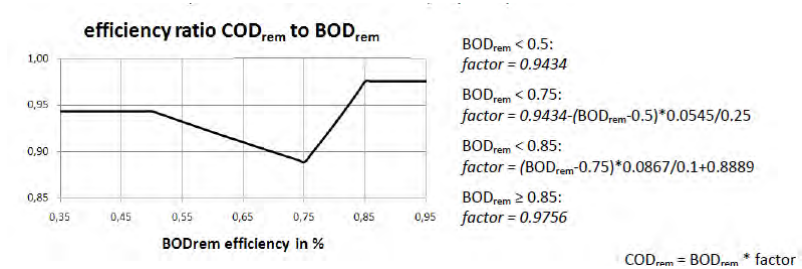
$$\text{Faktor} = (12,19 - 12) \times 0,18 / 15 + 0,82$$

$$\text{Faktor} = 0,82$$

Kemudian ditentukan efisiensi removal BOD dengan cara mengalikan semua faktor-faktor di atas.

Sehingga didapat nilai efisiensi removal BOD = 0,52

Adapun faktor efisiensi removal COD mengacu pada grafik berikut.



**Gambar 5.18 Grafik antara efisiensi removal BOD dan efisiensi removal COD**

Efisiensi penyisihan BOD 0,63 yang kurang dari 0,75, maka efisiensi penyisihan COD dihitung dengan cara :

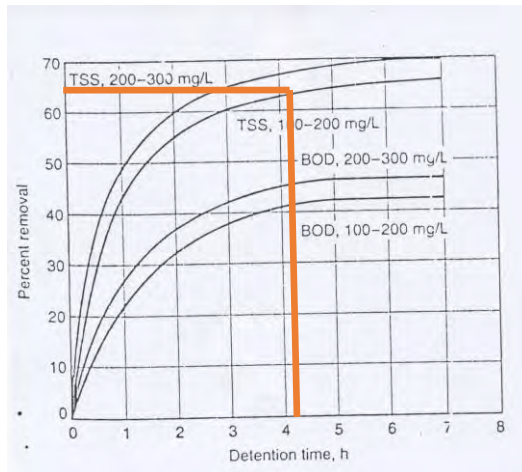
Efisiensi COD =  $0,9434 - (BOD_{rem} - 0,5) \times 0,0545 / 0,25$

Efisiensi COD =  $0,9434 - (0,52 - 0,5) \times 0,5454 / 0,25$

Efisiensi COD = 0,49

### Mass Balance ABR

- Produksi lumpur BOD  
 Range koefisien yield :  $\gamma = 0,05 - 1$  ( yang digunakan 0,08)  
 Produksi lumpur BOD =  $\gamma \times \text{efisiensi rem BOD} \times Q \times BOD_{in}$   
 Produksi lumpur BOD = 0,79 kg/hari  
 Produksi lumpur COD = efisiensi rem COD x Q x COD<sub>in</sub>  
 Produksi lumpur COD = 15,22 kg/hari
- Produksi lumpur TSS  
 Td tiap kompartemen = HRT/ h  
 Td tiap kompartemen = 4,06 jam



**Gambar 5. 19 Grafik persen removal antara waktu detensi terhadap TSS**

Removal TSS = 65%

TSS effluent =  $((1 - \text{rem TSS})^{\text{jumlah kompartemen}}) \times \text{TSSin}$

TSS effluent =  $(1 - 0,65)^3 \times 66,5$

TSS effluent = 2,85 mg/L

Produksi lumpur TSS =  $(\text{TSSin} - \text{TSSeff}) \times Q$

Produksi lumpur TSS =  $(66,5 - 2,85) \times 375616 \text{ L/hari}$

Produksi lumpur TSS = 23,91 kg/hari

Mass balance ABR

BOD = 24,2 mg/L

COD = 42,4 mg/L

TSS = 2,9 mg/L

### 5.3 ANALISIS *BILL OF QUANTITY* (BOQ) DAN RENCANA ANGGARAN BIAYA (RAB)

#### 5.3.1 Analisis BOQ RAB *Rainwater Harvesting*

Pondok putri

Panjang = 10 m

Lebar = 10 m

Free board = 0,3 m

Tebal dinding = 0,2 m

Kedalaman = 4 m

Kedalaman galian = 4,8 m

Volume galian =  $(10 + 0,2 + 0,2) \times (10 + 0,2 + 0,2) \times (4,8 + 0,2 + 0,2)$

Volume galian = 562,432 m<sup>3</sup>

Volume beton =  $[(10 + 0,2 + 0,2) \times (10 + 0,2 + 0,2) \times (4 + 0,3 + 0,2 + 0,2)] - (10 \times 10 \times 4,3)$

Volume beton = 108,352 m<sup>3</sup>

Rincian BOQ dan RAB tercantum dalam Tabel 5.15 .



Pondok putra

Panjang = 11 m

Lebar = 11 m

Free board = 0,3 m

Tebal dinding = 0,2 m

Kedalaman = 4 m

Kedalaman galian = 4,8 m

Volume galian =  $(11 + 0,2 + 0,2) \times (11 + 0,2 + 0,2) \times (4,8 + 0,2 + 0,2)$

Volume galian = 6775,792 m<sup>3</sup>

Volume beton =  $[(11 + 0,2 + 0,2) \times (11 + 0,2 + 0,2) \times (4 + 0,3 + 0,2 + 0,2)] - (11 \times 11 \times 4,3)$

Volume beton = 191,792 m<sup>3</sup>

Rincian BOQ dan RAB tercantum dalam Tabel 5.16.

**Tabel 5.15 Analisis BOQ dan RAB reservoir pondok putri**

<b>No.</b>	<b>Uraian</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Satuan</b>	<b>Harga Satuan</b>	<b>Harga Total</b>
1	Pipa Distribusi 355 mm	2	Buah	Rp 816.000	Rp 1.632.000
2	Pipa vent 50 mm	6	Buah	Rp 100.000	Rp 600.000
3	Gate valve	2	Buah	Rp 500.000	Rp 1.000.000
4	Pompa distribusi	2	Buah	Rp 20.500.000	Rp 41.000.000
5	Volume galian	562,432	m3	Rp 37.500	Rp 21.091.200
6	Volume beton	108,352	m3	Rp 1.200.000	Rp 130.022.400
<b>TOTAL</b>					<b>Rp 195.345.600</b>

Sumber : hasil perhitungan

**Tabel 5.16 Analisis BOQ dan RAB reservoir pondok putra**

<b>No.</b>	<b>Uraian</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Satuan</b>	<b>Harga Satuan</b>	<b>Harga Total</b>
1	Pipa Distribusi 355 mm	2	Buah	Rp 816.000	Rp 1.632.000
2	Pipa vent 50 mm	6	Buah	Rp 100.000	Rp 600.000
3	Gate valve	2	Buah	Rp 500.000	Rp 1.000.000
4	Pompa distribusi	2	Buah	Rp 20.500.000	Rp 41.000.000
5	Volume galian	675,792	m3	Rp 37.500	Rp 25.342.200
6	Volume beton	191,792	m3	Rp 1.200.000	Rp 230.150.400
<b>TOTAL</b>					<b>Rp 299.724.600</b>

Sumber : hasil perhitungan

### 5.3.2 Analisis BOQ dan RAB pengolahan air limbah

Volume pekerjaan dihitung berdasarkan pada kemampuan pekerja dalam menyelesaikan pekerjaannya dalam satuan per meter. Untuk penggalian lahan dan pembuatan saluran, maka diperlukan tenaga kerja dengan ketentuan sebagai berikut :

a. Untuk penggalian tanah

- Tenaga kerja kasar atau Kuli = 0,75 oh
- Mandor atau Tenaga Pengawas = 0,025 oh

b. Untuk pengurugan pasir

- Tenaga kerja kasar atau Kuli = 0,3 oh
- Mandor atau Tenaga Pengawas = 0,01 oh

c. Untuk pembuangan sisa galian tanah sejauh 150 m

- Tenaga kerja kasar atau Kuli = 0,330 oh
- Mandor atau Tenaga Pengawas = 0,01 oh

Sedangkan peralatan yang dibutuhkan untuk mengangkut tanah galian sisa dari lahan ke truk serta pengangkutan dari truk ke tanah pembuangan, adalah sebagai berikut:

- 1 unit Truk berkapasitas 10 m<sup>3</sup> sisa tanah galian.

Pada perencanaan ini, ABR berjumlah 2 buah. Satu ABR terletak di pondok putri dan yang lainnya di pondok putra.

Pondok putri

- ④ Dimensi total ABR

Panjang = 21,2 m

Lebar = 4,3 m

Kedalaman = 4,3 m

Free board = 0,5 m

### 5.3.2.1 Pekerjaan Galian Tanah

- ⊗ Volume Galian tanah ABR
- ⊗  $H = 4,3 \text{ m} + 0,5 \text{ m} + 0,5 \text{ m} + 2 \text{ m} = 7,3 \text{ m}$
- ⊗  $A1 = 21,2 \text{ m} + 2 \text{ m} + 10 \text{ m} = 33,2 \text{ m}$
- ⊗  $A2 = 4,3 \text{ m} + 2 \text{ m} + 10 \text{ m} = 16,3 \text{ m}$
- ⊗ Volume galian tanah ABR
$$= \left[ \frac{H}{3} \times (A1^2 + A2^2 + \sqrt{(A1 \times A2)}) \right]$$
$$= \left[ \frac{7,3}{3} \times (33,2^2 + 16,3^2 + \sqrt{(33,2 \times 16,3)}) \right]$$
$$= 3571 \text{ m}^3$$
- ⊗ Volume galian tanah = 3571 m<sup>3</sup>

### 5.3.2.2 Pekerjaan Urugan Pasir

- ⊗ Volume urugan pasir ABR
- ⊗  $A1 = 21,2 \text{ m} + 2 \text{ m} + 10 \text{ m} = 33,2 \text{ m}$
- ⊗  $A2 = 4,3 \text{ m} + 2 \text{ m} + 10 \text{ m} = 16,3 \text{ m}$
- ⊗ Tebal urugan pasir = 1 m
- ⊗ Volume urugan pasir 1 ABR = Tebal urugan pasir x A1  
x A2
$$= 1 \text{ m} \times 33,2 \text{ m} \times 16,3 \text{ m}$$
$$= 541,16 \text{ m}^3$$

### 5.3.3.3 Pekerjaan Beton Lantai Kerja

- ⓐ Volume beton lantai kerja ABR
- ⓐ Tebal lantai kerja = 0,3 m
- ⓐ Luas dasar ABR =  $p \times l$   
 $= 21,2 \text{ m} \times 4,3 \text{ m}$   
 $= 91,16 \text{ m}^2$
- ⓐ Volume beton lantai kerja 1 ABR = tebal lantai kerja x  
luas dasar ABR  
 $= 0,3 \text{ m} \times 91,16 \text{ m}^2$   
 $= 27 \text{ m}^3$

### 5.3.3.4 Pekerjaan Urugan Tanah

- ⓐ Volume galian tanah 1 ABR =  $3571 \text{ m}^3$
- ⓐ Volume Ground 1 ABR =  $p \times l \times t$   
 $= 21,2 \text{ m} \times 4,3 \text{ m} \times 4,3 \text{ m}$   
 $= 391,9 \text{ m}^3$
- ⓐ Volume beton lantai kerja 1 ABR =  $27 \text{ m}^3$
- ⓐ Volume urugan pasir 1 ABR =  $541,16 \text{ m}^3$
- ⓐ Volume tanah urugan 1 ABR  
 $= \text{Vol galian tanah} - (\text{Vol ABR} + \text{Vol beton lantai kerja}$   
 $+ \text{Vol urugan pasir})$

$$\begin{aligned}
 &= 3571 \text{ m}^3 - (391,9 \text{ m}^3 + 27 \text{ m}^3 + 541,16 \text{ m}^3) \\
 &= 2390 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

#### 5.3.3.5 Pekerjaan Tanah Buangan

- Ⓢ Volume urugan pasir 1 ABR =  $541,16 \text{ m}^3$
- Ⓢ Volume beton lantai kerja 1 ABR =  $27 \text{ m}^3$
- Ⓢ Volume tanah dibuang 1 ABR = vol urugan pasir +  
vol lantai kerja  
 $= 541,16 \text{ m}^3 + 27 \text{ m}^3$   
 $= 569 \text{ m}^3$

#### 5.3.3.6 Pekerjaan Beton Lantai ABR

- Ⓢ Tebal lantai 1 ABR =  $1 \text{ m}$
- Ⓢ Luas dasar 1 ABR =  $21,2 \text{ m} \times 4,3 \text{ m} = 91,16 \text{ m}^2$
- Ⓢ Volume beton lantai 1 ABR = tebal lantai x luas dasar  
ABR  
 $= 1 \text{ m} \times 91,16 \text{ m}^2 = 91,16 \text{ m}^3$

#### 5.3.3.7 Pekerjaan Beton Spesi Dinding

- Ⓢ Tebal dinding =  $1 \text{ m}$

- Ⓢ Luas dinding 1 ABR =  $(2 \times 21,2 \text{ m} \times 5 \text{ m}) + (2 \times 4,3 \text{ m} \times 5 \text{ m}) = 255 \text{ m}^2$
- Ⓢ Volume spesi dinding 1 ABR = tebal dinding x luas sisi dinding  

$$= 1 \text{ m} \times 255 \text{ m}^2 = 255 \text{ m}^3$$

#### 5.3.3.8 Pekerjaan Beton Atap ABR

- Ⓢ Tebal atap = 0,15 m
- Ⓢ Luas atap 1 ABR =  $21,2 \text{ m} \times 4,3 \text{ m} = 91,16 \text{ m}^2$
- Ⓢ Volume beton atap 1 ABR = tebal atap x luas atap  

$$= 0,15 \text{ m} \times 91,16 \text{ m}^2$$

$$= 13,674 \text{ m}^3$$

#### 5.3.3.9 Pekerjaan Pembesian

##### a. Berat Besi Lantai

- Ⓢ Berat besi untuk lantai adalah berat besi yang ada pada beton lantai ABR, dengan asumsi bahwa pada setiap  $1 \text{ m}^3$  beton mempunyai berat besi sebesar 150 kg, diperoleh:
- Ⓢ Berat besi lantai = Volume beton lantai GR x 150 kg/ $\text{m}^3$   

$$= 91,16 \text{ m}^3 + 27 \text{ m}^3 \times 150 \text{ kg/m}^3$$

$$= 17776,2 \text{ kg}$$



- ⓐ Karena pekerjaan pembesian dihitung setiap 200 kg, maka diperoleh:

$$= 17776,2 \text{ kg} / 200 \text{ kg} = 89$$

#### b. Berat Besi Dinding

- ⓐ Berat besi untuk dinding adalah berat besi yang ada pada beton dinding ABR, dengan asumsi  $1\text{m}^3$  beton mempunyai berat besi sebesar 150 kg, diperoleh:
- ⓐ Berat besi dinding = Volume beton dinding GR x 150 kg/ $\text{m}^3$

$$= (255 \text{ m}^3 + 60 \text{ m}^3) \times 150 \text{ kg/m}^3$$

$$= 47250 \text{ kg}$$

- ⓐ Karena pekerjaan pembesian dihitung setiap 200 kg, maka diperoleh:

$$= 47250 \text{ kg} / 200 \text{ kg} = 236,2$$

#### c. Berat Besi Atap

- ⓐ Berat besi untuk atap adalah berat besi yang ada pada beton atap ABR. Dengan asumsi  $1\text{m}^3$  beton mempunyai berat besi sebesar 150 kg, diperoleh:
- ⓐ Berat besi atap = Volume beton atap GR x 150 kg/ $\text{m}^3$   
 $= 13,674 \text{ m}^3 \times 150 \text{ kg/m}^3 = 2051,1 \text{ kg}$

- ⊙ Karena pekerjaan pembesian dihitung setiap 200 kg, maka diperoleh:

$$= 2051,1 \text{ kg} / 200 \text{ kg} = 10,25$$

- ⊙ Pondok putra

Dimensi total ABR

Panjang = 23,43 m

Lebar = 4,3 m

Kedalaman = 3,8 m

Free board = 0,5 m

### 5.3.2.3 Pekerjaan Galian Tanah

- ⊙ Volume Galian tanah ABR

- ⊙  $H = 3,8 \text{ m} + 0,5 \text{ m} + 0,5 \text{ m} + 2 \text{ m} = 6,8 \text{ m}$

- ⊙  $A1 = 23,43 \text{ m} + 2 \text{ m} + 10 \text{ m} = 35,43 \text{ m}$

- ⊙  $A2 = 4,3 \text{ m} + 2 \text{ m} + 10 \text{ m} = 16,3 \text{ m}$

- ⊙ Volume galian tanah ABR

$$= \left[ \frac{H}{3} \times (A1^2 + A2^2 + \sqrt{(A1 \times A2)}) \right]$$

$$= \left[ \frac{6,8}{3} \times (35,43^2 + 16,3^2 + \sqrt{(35,43 \times 16,3)}) \right]$$

$$= 3468 \text{ m}^3$$

- ⊙ Volume galian tanah = 3468 m<sup>3</sup>

### 5.3.2.4 Pekerjaan Urugan Pasir

- ⊙ Volume urugan pasir ABR

- ⊗  $A1 = 23,43 \text{ m} + 2 \text{ m} + 10 \text{ m} = 35,43 \text{ m}$
- ⊗  $A2 = 4,3 \text{ m} + 2 \text{ m} + 10 \text{ m} = 16,3 \text{ m}$
- ⊗  $\text{Tebal urugan pasir} = 1 \text{ m}$
- ⊗  $\text{Volume urugan pasir 1 ABR} = \text{Tebal urugan pasir} \times A1$   
 $\times A2$   
 $= 1 \text{ m} \times 35,43 \text{ m} \times 16,3 \text{ m}$   
 $= 577,509 \text{ m}^3$

#### 5.3.3.10 Pekerjaan Beton Lantai Kerja

- ⊗  $\text{Volume beton lantai kerja ABR}$
- ⊗  $\text{Tebal lantai kerja} = 0,3 \text{ m}$
- ⊗  $\text{Luas dasar ABR} = p \times l$   
 $= 23,43 \text{ m} \times 4,3 \text{ m}$   
 $= 100,75 \text{ m}^2$
- ⊗  $\text{Volume beton lantai kerja 1 ABR} = \text{tebal lantai kerja} \times$   
 $\text{luas dasar ABR}$   
 $= 0,3 \text{ m} \times 100,75 \text{ m}^2$   
 $= 30 \text{ m}^3$

#### 5.3.3.11 Pekerjaan Urugan Tanah

- ⊗  $\text{Volume galian tanah 1 ABR} = 3468 \text{ m}^3$

$$\textcircled{a} \quad \text{Volume Ground 1 ABR} = p \times l \times t$$

$$= 23,43 \text{ m} \times 4,3 \text{ m} \times 3,8 \text{ m}$$

$$= 382,85 \text{ m}^3$$

$$\textcircled{a} \quad \text{Volume beton lantai kerja 1 ABR} = 30 \text{ m}^3$$

$$\textcircled{a} \quad \text{Volume urugan pasir 1 ABR} = 577,5 \text{ m}^3$$

$$\textcircled{a} \quad \text{Volume tanah urugan 1 ABR}$$

$$= \text{Vol galian tanah} - (\text{Vol ABR} + \text{Vol beton lantai kerja} + \text{Vol urugan pasir})$$

$$= 3468 \text{ m}^3 - (382,85 \text{ m}^3 + 30 \text{ m}^3 + 577,5 \text{ m}^3)$$

$$= 2477 \text{ m}^3$$

#### 5.3.3.12 Pekerjaan Tanah Buangan

$$\textcircled{a} \quad \text{Volume urugan pasir 1 ABR} = 577,5 \text{ m}^3$$

$$\textcircled{a} \quad \text{Volume beton lantai kerja 1 ABR} = 30 \text{ m}^3$$

$$\textcircled{a} \quad \text{Volume tanah dibuang 1 ABR} = \text{vol urugan pasir} + \text{vol lantai kerja}$$

$$= 577,5 \text{ m}^3 + 30 \text{ m}^3$$

$$= 608 \text{ m}^3$$

#### 5.3.3.13 Pekerjaan Beton Lantai ABR

$$\textcircled{a} \quad \text{Tebal lantai 1 ABR} = 1 \text{ m}$$

- Ⓔ Luas dasar 1 ABR =  $23,43 \text{ m} \times 4,3 \text{ m} = 100,75 \text{ m}^2$
- Ⓔ Volume beton lantai 1 ABR = tebal lantai x luas dasar ABR  
 $= 1 \text{ m} \times 100,75 \text{ m}^2 = 100,75 \text{ m}^3$

#### 5.3.3.14 Pekerjaan Beton Spesi Dinding

- Ⓔ Tebal dinding = 1 m
- Ⓔ Luas dinding 1 ABR =  $(2 \times 23,43 \text{ m} \times 5 \text{ m}) + (2 \times 4,3 \text{ m} \times 5 \text{ m}) = 277,3 \text{ m}^2$
- Ⓔ Volume spesi dinding 1 ABR = tebal dinding x luas sisi dinding  
 $= 1 \text{ m} \times 277,3 \text{ m}^2 = 277,3 \text{ m}^3$

#### 5.3.3.15 Pekerjaan Beton Atap ABR

- Ⓔ Tebal atap = 0,15 m
- Ⓔ Luas atap 1 ABR =  $23,43 \text{ m} \times 4,3 \text{ m} = 100,75 \text{ m}^2$
- Ⓔ Volume beton atap 1 ABR = tebal atap x luas atap  
 $= 0,15 \text{ m} \times 100,75 \text{ m}^2$   
 $= 15,11 \text{ m}^3$

### 5.3.3.16 Pekerjaan Pembesian

#### d. Berat Besi Lantai

- ⓐ Berat besi untuk lantai adalah berat besi yang ada pada beton lantai ABR, dengan asumsi bahwa pada setiap  $1\text{m}^3$  beton mempunyai berat besi sebesar 150 kg, diperoleh:

- ⓐ Berat besi lantai = Volume beton lantai GR x 150 kg/ $\text{m}^3$

$$= 100,75 \text{ m}^3 + 30 \text{ m}^3 \times 150 \text{ kg/m}^3$$

$$= 19646,06 \text{ kg}$$

- ⓐ Karena pekerjaan pembesian dihitung setiap 200 kg, maka diperoleh:

$$= 19646,06 \text{ kg} / 200 \text{ kg} = 98$$

#### e. Berat Besi Dinding

- ⓐ Berat besi untuk dinding adalah berat besi yang ada pada beton dinding ABR, dengan asumsi  $1\text{m}^3$  beton mempunyai berat besi sebesar 150 kg, diperoleh:

- ⓐ Berat besi dinding = Volume beton dinding GR x 150 kg/ $\text{m}^3$

$$= ( 277,5 \text{ m}^3 + 60 \text{ m}^3 ) \times 150 \text{ kg/m}^3$$

$$= 50595 \text{ kg}$$

- ⓐ Karena pekerjaan pembesian dihitung setiap 200 kg, maka diperoleh:

$$= 50595 \text{ kg} / 200 \text{ kg} = 252,97$$

f. Berat Besi Atap

- ⓐ Berat besi untuk atap adalah berat besi yang ada pada beton atap ABR. Dengan asumsi  $1 \text{ m}^3$  beton mempunyai berat besi sebesar 150 kg, diperoleh:

- ⓐ Berat besi atap = Volume beton atap GR x 150 kg/  $\text{m}^3$   
 $= 15,11 \text{ m}^3 \times 150 \text{ kg/m}^3 = 2266,85 \text{ kg}$

- ⓐ Karena pekerjaan pembesian dihitung setiap 200 kg, maka diperoleh:

$$= 2266,85 \text{ kg} / 200 \text{ kg} = 11,33$$

Berdasarkan perhitungan BOQ tersebut, maka dilakukan perhitungan. Adapun hasil analisis RAB dapat dilihat pada tabel 5.17 dan Tabel 5.18

**Tabel 5.17 Analisis RAB ABR pondok putri**

No	Uraian	Volume	Satuan	Harga Satuan	Harga Total
1	Beton	447	m <sup>3</sup>	Rp26.580	Rp11.881.260
2	Pasir	541	m <sup>3</sup>	Rp144.000	Rp77.904.000
3	Tanah	2390	m <sup>3</sup>	Rp15.340	Rp36.662.600
4	Besi/200kg	335	kg	Rp2.730.000	Rp914.550.000
5	Tanah dibuang	569	m <sup>3</sup>	Rp13.800	Rp7.852.200
<b>Total Biaya (Rp)</b>					<b>Rp1.048.850.060</b>

Sumber : hasil perhitungan



**Tabel 5.18 Analisis RAB ABR pondok putra**

<b>No</b>	<b>Uraian</b>	<b>Volume</b>	<b>Satuan</b>	<b>Harga Satuan</b>	<b>Harga Total</b>
1	Beton	483	m <sup>3</sup>	Rp26.580	Rp12.838.140
2	Pasir	578	m <sup>3</sup>	Rp144.000	Rp83.232.000
3	Tanah	2477	m <sup>3</sup>	Rp15.340	Rp37.997.180
4	Besi/200kg	363	kg	Rp2.730.000	Rp990.990.000
5	Tanah dibuang	608	m <sup>3</sup>	Rp13.800	Rp8.390.400
<b>Total Biaya (Rp)</b>					<b>Rp1.133.447.720</b>

Sumber : hasil perhitungan

#### 5.4 ANALISIS KELAYAKAN EKONOMI

Analisis kelayakan ekonomi dilaksanakan dengan metode Net Present Value (NPV) dan Benefit Cost Ratio (BCR). Dimana dalam menghitung NPV digunakan rumus sebagai berikut :

$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{Bt - Ct}{(1 + i)^t}$$

$$BCR = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Bt - Ct}{(1 + i)^t}}{\sum_{i=1}^n \frac{Ct}{(1 + i)^t}}$$

Dimana :

Bt = penerimaan tahun ke t

Ct = pengeluaran tahun ke t

Dengan analisis NPV maka dapat diketahui kelayakan dari proyek ini. Suatu proyek dikatakan layak jika  $NPV > 1$ , dan tidak layak jika nilai  $NPV < 1$ . Sementara itu, perhitungan BCR dilakukan dengan mengurangi total manfaat dengan biaya.

Pada perencanaan ini, diasumsikan manfaat yang akan diperoleh sebagaimana yang ditunjukkan dalam Tabel 5.19.

Selanjutnya, dengan menggunakan tingkat diskonto sebesar 7%, dan nilai  $i$  sebesar 0,6183, maka analisis NPV berdasarkan rumus perhitungan di atas, sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 5.20.

**Tabel 5.19 Manfaat yang diperoleh dengan adanya perencanaan**

Manfaat	Jumlah	Satuan	harga satuan	Total manfaat
Air hujan yang dapat ditampung per tahun	817280	Liter	Rp1.000	Rp817.280.000
Penghematan biaya berobat santri tiap tahun	20	orang	Rp100.000	Rp2.000.000
<b>Total</b>				Rp819.280.000

Sumber : hasil perhitungan

**Tabel 5.20 Analisis NPV**

Periode	Tahun	Benefit
0	2018	-495070200
0	2019	-1.048.850.060
0	2020	-1.133.447.720
1	2021	819.280.000
2	2022	819.280.000
3	2023	819280000
4	2024	819.280.000
5	2025	819.280.000
6	2026	819.280.000
7	2027	819.280.000
8	2028	819.280.000
9	2029	819.280.000
10	2030	819.280.000

Sumber : hasil perhitungan

Berdasarkan data tersebut, maka dihitung NPV dengan menggunakan rumus yang ada. Dari perhitungan yang dilakukan didapat nilai NPV sebesar 3.076.911.905. Karena nilai NPV > 1, maka proyek ini dikatakan layak.

Sementara itu, untuk perhitungan dari analisis BCR ditunjukkan oleh Tabel 5.21.

**Tabel 5.21 Analisis BCR**

Periode	Tahun	Biaya	i	PV Biaya	PV Manfaat	Manfaat-Biaya
0	2018	495.070.200	0,6183	495.070.200		(495.070.200)
0	2019	1.048.850.060	0,6183	1.048.850.060		(1.048.850.060)
0	2020	1.133.447.720	0,6183	1.133.447.720		(1.133.447.720)
1	2021	19.500.000	0,6183	12.049.682	819.280.000	807.230.318
2	2022	19.500.000	0,6183	7.445.889	819.280.000	811.834.111
3	2023	19.500.000	0,6183	4.601.056	819.280.000	814.678.944
4	2024	20.500.000	0,6183	2.988.944	819.280.000	816.291.056
5	2025	19.500.000	0,6183	1.756.869	819.280.000	817.523.131
6	2026	19.500.000	0,6183	1.085.626	819.280.000	818.194.374
7	2027	19.500.000	0,6183	670.844	819.280.000	818.609.156
8	2028	19.500.000	0,6183	414.536	819.280.000	818.865.464
9	2029	19.500.000	0,6183	256.155	819.280.000	819.023.845
10	2030	19.500.000	0,6183	158.287	819.280.000	819.121.713
<b>TOTAL</b>				2.708.795.867	8.192.800.000	5.484.004.133

Sumber : hasil perhitungan

Berdasarkan perhitungan tersebut, maka didapat nilai total manfaat > biaya, sehingga dapat dikatakan bahwa proyek ini layak.

Hasil analisis ekonomi menggunakan NPV maupun BCR menyatakan bahwa proyek ini layak.

## BAB 6

### KESIMPULAN

#### 6.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari perencanaan ini adalah:

1. Kualitas air hujan di pondok pesantren Mambaul Ulum Bata-bata Pamekasan ditinjau dari semua parameter yang digunakan masih di bawah baku mutu, yaitu kekeruhan sebesar 1,5 NTU, kadar TSS sebesar 115 mg/L, pH sebesar 6,8, suhu sebesar 29,2 °C, dan kesadahan sebesar 75 mg/L. Sementara kualitas air limbah yang terdiri dari pondok putri dan pondok putra, ditinjau dari parameter BOD, COD, TSS, berada diatas baku mutu air sehingga perlu diolah sebelum dibuang ke lingkungan.
2. Perencanaan *rainwater harvesting* di pondok pesantren Mambaul Ulum Bata-bata Pamekasan dilakukan terhadap bangunan yang sudah memiliki talang air hujan yang kemudian ditampung dalam reservoir yang terletak di pondok putri dan pondok putra. Adapun kapasitas masing-masing reservoir di pondok putri dan pondok putra sebesar 347,76 m<sup>3</sup> dan 469,52 m<sup>3</sup>. Adapun perencanaan air limbah dilakukan dengan unit *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) yang terletak masing-masing di pondok putri dan putra. Adapun dimensi total ABR pada pondok putri yaitu

21,2 x 4,3 x 4,3 m. Sedangkan dimensi total ABR di pondok putra sebesar 23,43 x 4,3 x 3,8 m.

3. Pada perencanaan *rainwater harvesting* diperkirakan memakan biaya sebesar Rp495.070.200,00. Sementara perencanaan air limbah dengan ABR, di pondok putri menghabiskan Rp1.048.850.060,00 dan Rp1.133.447.720,00 di pondok putra.
4. Hasil analisis kelayakan ekonomi dengan menggunakan *Net Present Value* (NPV) dan *Benefit and Cost Ratio* (BCR) menyatakan bahwa pada proyek ini layak diaplikasikan.

## 6.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan pada perencanaan ini adalah :

1. Penggunaan talang air hujan di setiap bangunan yang ada di pondok pesantren Mambaul ulum Bata-bata Pamekasan.
2. Adanya pengelolaan terhadap administrasi pondok pesantren, sehingga data dapat terpusat dan dikelola dengan baik.
3. Adanya teknologi tepat guna yang sederhana untuk diterapkan di pondok pesantren. Misalnya penampung air hujan berupa kolam, sehingga bisa menjadi alternatif *supply* air bersih di musim kemarau serta bisa dikembangkan untuk produksi air minum dalam kemasan yang dapat menambah pemasukan pondok pesantren.

4. Mengoptimalkan keberadaan sumur dangkal yang ada di pondok sebagai *recharge* air bersih, sehingga tidak hanya menggantungkan pada sumber dari mata air.
5. Pemanfaatan tangki septik untuk menghasilkan biogas, yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan pondok pesantren misalnya penerangan maupun kegiatan masak memasak, serta dapat menjadi wadah bagi santri untuk mengembangkan *softskill* kewirausahaan.
6. Pemanfaatan air olahan dari ABR untuk air siram tanaman.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Layla, Anis, M., Ahmad, S. dan Middlebrooks, E. J. 1980. Water Supply Engineering Design. Utah: Ann Arbor Science.
- Barber W.P., Stuckey DC., 1999. The Use of The Anaerobic Baffled Reactor (ABR) for Wastewater Treatment
- Bell J., 2002. Treatment of Dye Wastewaters in The Anaerobic Baffled Reactor and Characterisation of The Associated Microbial Populations. Thesis, Durban : School of Chem. Eng., University of Natal
- Benfield, Judkins, dan Weand. 1982. Process Chemistry For Water And Wastewater Treatment. New Jersey : Prentice Hall Inc.
- Casali, J. R. Gimenez, J. Diez, J. Álvarez-Mozos, J. D.V. de Lersundi, M. Goni, M.A. Campo, Y. Chahor, R. Gastesi, dan J. Lopez. 2010. Sediment production and water quality of watersheds with contrasting land use in Navarre (Spain). Agricultural Water Management 97 pp. 1683-1694.
- Cheremisinoff, N.P., dan Moressi, A.C. 1978. Carbon Adsorption. New Delhi : Ann Arbor Science
- Dewan Ma'hadiah Pondok Pesantren MUBA. 2016. Jumlah Santri Pondok Pesantren Mambaul Ulum Bata-Bata tahun 2007-2016. Pamekasan : Data Administrasi Pondok Pesantren Mambaul Ulum Bata-Bata.
- Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Pamekasan. 2014. Jumlah Curah Hujan dan Hari Hujan di Setiap Stasiun tahun 2013. Pamekasan : Data Klimatologi Kabupaten Pamekasan dalam Rencana Kerja Pembangunan Daerah tahun 2015

- Dinas Pengairan Kabupaten Pamekasan. 2014. Nama-nama Dam/Bendungan di Kabupaten Pamekasan. Pamekasan : Data Hidrologi Kabupaten Pamekasan dalam Rencana Kerja Pembangunan Daerah tahun 2015
- Droste, Ronald L. 1997. Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Dwivedi, A.K., Patil,V.B., dan Karankal,A.B. 2013. Rooftop Rain Water Harvesting for Groundwater Recharge in an Educational Complex. Global Kournal of Researcher in Engineering Civil and Structural Engineering 13[1] pp 21-30.
- Fair, Geyer dan Okun. 1968. Water and Waste Water Treatment Engineering. Volume 2. NewYork: John Wiley & Sons Inc.
- Foxon, K.M., Pillay, S., Lalbahadur, T., Rodda, N., Holder, F., Buckley, C.A., 2004. The Anaerobic Baffled Reactor (ABR): An Appropriate Technology for On-Site Sanitation. Water SA. 30[5] pp 44-50.
- Garg, S.K. 1987. Hydrology and Run off Computation. Irrigation Engineering and Hydraulic Structure pp 674.
- Gould,N. 1999. Rainwater Catchment System for Domestic Supply. International Technology Publication. London
- Grobicki A and Stuckey, DC., 1991. Performance of The Anaerobic Baffled Reactor Under Steady-State and Shock Loading Conditions. Biotechnol
- Haryati, T. 2006. Biogas : Limbah Peternakan yang Menjadi Sumber Energi Alternatif. Wartazoa 16[3] pp 160-169

- Indriani, T., dan Herumurti, W. 2010. Studi Efisiensi Paket Pengolahan Grey Water Model Kombinasi ABR- Anaerobic Filter. Surabaya : Jurusan Teknik Lingkungan ITS
- Jain, S., Thaku,P., Singh,S., Srivastava,M. 2015. Design og Rooftop Rainwater Harvesting Tank for Katpadi Region, Tamil Nadu. SSRG International Journal of Civil Engineering 2[7] pp 6-8.
- Jati, M.A.I. 2016. Pemetaan dan Perhitungan Recharge Air Tanah Berdasarkan Data Curah Hujan Di Kabupaten Sleman. Tugas Akhir. Yogyakarta : Universitas Pembangunan Nasional Veteran Program Studi Teknik Informatika.
- Julius,J.R., Prabhavathy,R.A., dan Ravikumar,G. 2013. Rainwater harvesting. A Review. International Journal of Scientific and Engineering Research. 4[8] pp 276-282
- Komariah,I. 2006. Studi Sumber Daya Air DAS Cipelang Dalam Rangka Pemenuhan Kebutuhan Air Baku Rencana Pembangunan Kawasan Bandara Internasional Palasah Di Kabupaten Majalengka. Thesis. Bandung : Teknik Sipil ITB
- Kawamura, Susumu. 1991. Integrated Design of Water Treatment Facilities. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Madyanova, M. 2005. Pengolahan Senyawa organik Limbah Cair Domestik dengan Menggunakan Anaerobic Baffled Reactor (ABR). Tugas Akhir. Bandung : ITB
- Mara,D. 1976. Low-Cost Urban Sanitation. Skotlandia : University of Dundee

- McCarty, P.L. and Smith, D.P., 1986. Anaerobic Wastewater Treatment. Environmental Science & Technology
- Metcalf and Eddy . 1991. Wastewater Engineering Third Edition. Singapura : McGraw Hill Book Co.
- Metcalf and Eddy. 2003. Wastewater Engineering Fourth Edition. Singapura : McGraw Hill Book Co.
- Morey, A., Dhurve,B., Haste,V., dan Wasnik,B. 2016. Rainwater Harvesting System. International Research Journal of Engineering and Technology. 3[4] pp 2158-2162
- Movahedyan, H., Assadi,A., Parvaresh, A. 2007. Performance Evaluation of Anaerobic Baffled Reactor Treating Wheat Flour Starch Industry Wastewater. Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng.,4(2), pp. 77-84
- Nachaiyasit S., Stuckey, DC., 1997. The Effect of Shock Loads on The Performance of an Anaerobic Baffled Reactor (ABR): I, Step Changes in Feed Concentration at Constant Retention Time
- Olaruntade,A.J., dan Oguntunde P.G. 2009. Effective Water Resources Management as a Panacea for Climate Change Problem in Nigeria. Journal of Engineering and Earth Sciences 3[2] pp 18-25
- Otti,V.I., dan Ezenwaji,E.E. 2013. Enhancing Community-Driven Initiative in Rainwater Harvesting in Nigeria. International Journal of Engineering and Technology 3[1] pp 73-79.
- Patel, U.R., Patel, V.A., Balya,M.I., dan rajgor, H.M. 2014. Rooftop Rainwater harvesting (RRWH) at SSPV Campus, Visnagar : Gujarat- A Case Study. International Journal of Research in Engineering and Technology. 3[4] pp 821-825.

- Menteri Kesehatan Republik Indonesia. 2010. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MenKes/Per/IV/2010 Tentang Syarat-syarat dan Pengawas Kualitas Air Minum.
- Pemerintah Provinsi Jawa Timur. 2013. Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 tahun 2013 tentang Baku Mutu Limbah bagi Industri atau Kegiatan/Usaha Lainnya.
- Pemerintah Republik Indonesia, (2001), Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Purwanto, E. 2008. Studi Anaerobic Baffled Reactor (ABR) untuk Mengolah Air Limbah Domestik dari Rumah Susun. Tugas Akhir. Surabaya : Jurusan Teknik Lingkungan ITS
- Reynolds. 1982. Unit Operation and Processes in Environmental Engineering. California: Texas A&M University, Brook/Cole Engineering Division.
- Reynolds, Tom D. dan Richards, P. A. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering Second Edition. USA: PWS Publishing Company.
- Schulz, C. R. dan Okun, D. A. 1984. Surface Water Treatment For Communities In Developing Countries. New York: John Willey & Sons Inc.
- Soewarno, 1991. Hidrologi Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri). Bandung : Nova.
- Sugiharto., 1987. *Dasar-Dasar Pengelolaan Air Limbah*. Jakarta: Universitas Indonesia (UI-Press)

- Sularso, A. D. 1998. Penurunan Tingkat Fe Dan Mn Air Sumur Dengan Kombinasi Aerasi Proses Dan Proses Saringan Pasir Cepat. Housing II Tangerang Jawa Barat. (Tesis). Yogyakarta : STTL YLH.
- Tato, 2004. Thomas, T.H. and Martinson, D.B. 2007. Roof Water Harvesting: A Handbook for Practitioners.
- Untari,T., dan Kusnadi,J. 2015. Pemanfaatan Air Hujan Sebagai Air Layak Konsumsi Di Kota Malang dengan Metode Modifikasi Filtrasi Sederhana. Jurnal Pangan dan Agroindustri. 3[4] pp 1492-1502.
- Wang, J.L., Huang, Y.H., dan Zhao, X., 2004. *Performance and Characteristics of an Anaerobic Baffled Reactor*. Bioresour. Technology
- Wurjanto, A. dan Sudirman,D. 2005. Modul Perhitungan Debit Andalan Sungai.Bandung : Program Teknik Kelautan ITB.
- [www.kelair.bppt.go.id](http://www.kelair.bppt.go.id). Teknologi Pengolahan Air Hujan. Diakses pada 17 Februari 2017.

## LAMPIRAN

### 1. Analisis BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Alat dan Bahan

1. 1 buah labu ukur berukuran 500 mL
2. 2 buah botol winkler 300 mL dan 2 buah botol winkler 150 mL
3. 1 botol winkler 300 mL dan 1 botol winkler 150 mL
4. Inkubator suhu 20°C

Prosedur Analisis:

1. Sampel sesuai dengan perhitungan pengenceran dituangkan ke dalam labu ukur kemudian ditambahkan air pengencer hingga tanda batas.
2. Sampel yang telah diencerkan dituangkan kedalam 1 botol winkler 300 mL dan 1 botol winler 150 mL hingga tumpah kemudian ditutup dengan hati – hati.
3. Air pengencer dituangkan kedalam 1 botol winkler 300 mL dan 1 botol winler 150 mL hingga tumpah kemudian ditutup dengan hati- hati.
4. Larutan dalam botol winkler 300 mL dimasukkan ke dalam inkubator 20 °C selama 5 hari.
5. Perhitungan nilai BOD dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$BOD_5^{20} \text{ (mg/L)} = \frac{[(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)] \times (1 - P)}{P}$$

$$P = \frac{\text{mL sampel}}{\text{volume hasil pengenceran (500 mL)}}$$

Keterangan:

- $X_0$  : DO sampel pada  $t = 0$   
 $X_5$  : DO sampel pada  $t = 5$   
 $B_0$  : DO blanko pada  $t = 0$   
 $B_5$  : DO blanko pada  $t = 5$   
 $P$  : derajat pengenceran

## **2. Analisis TSS (*Total Suspended Solids*)**

### **Alat dan Bahan**

1. Larutan sampel yang akan dianalisis
2. Furnace dengan suhu 550°C
3. Oven dengan suhu 105°C
4. Cawan porselin 50 ml
5. Timbangan analitis
6. Desikator
7. Cawan petridis
8. Kertas saring
9. Vacum filter

### **Prosedur Analisis:**

1. Cawan porselin dibakar dengan suhu 550°C selama 1 jam, setelah itu dimasukkan ke dalam oven 105°C selama 15 jam.
2. Masukkan kertas saring ke oven 105°C selama 1 jam
3. Cawan dan kertas saring diatas didinginkan dalam desikator selama 15 menit
4. Timbang cawan dan kertas saring dengan timbangan analitis (e mg)
5. Letakkan kertas saring yang telah ditimbang pada vacuum filter
6. Tuangkan 25 ml sampel diatas filter yang telah dipasang pada vacuum filter, volume sampel yang digunakan ini tergantung dari kepekataannya, catat volume sampel (g ml)
7. Saring sampel sampai kering atau airnya habis
8. Letakkan kertas saring pada cawan Petridis dan masukkan ke dalam oven 105°C selama 1 jam
9. Dinginkan didalam desikator selama 15 menit
10. Timbang dengan timbangan analitis (f mg)
11. Hitung jumlah TSS dengan rumus berikut:  
$$\text{TSS (mg/L)} = ((f-e)/g) \times 1000 \times 1000$$



## Baku Mutu Air Limbah Permen LHK No.68 Tahun 2016

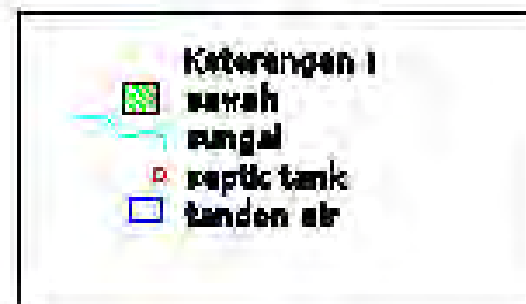
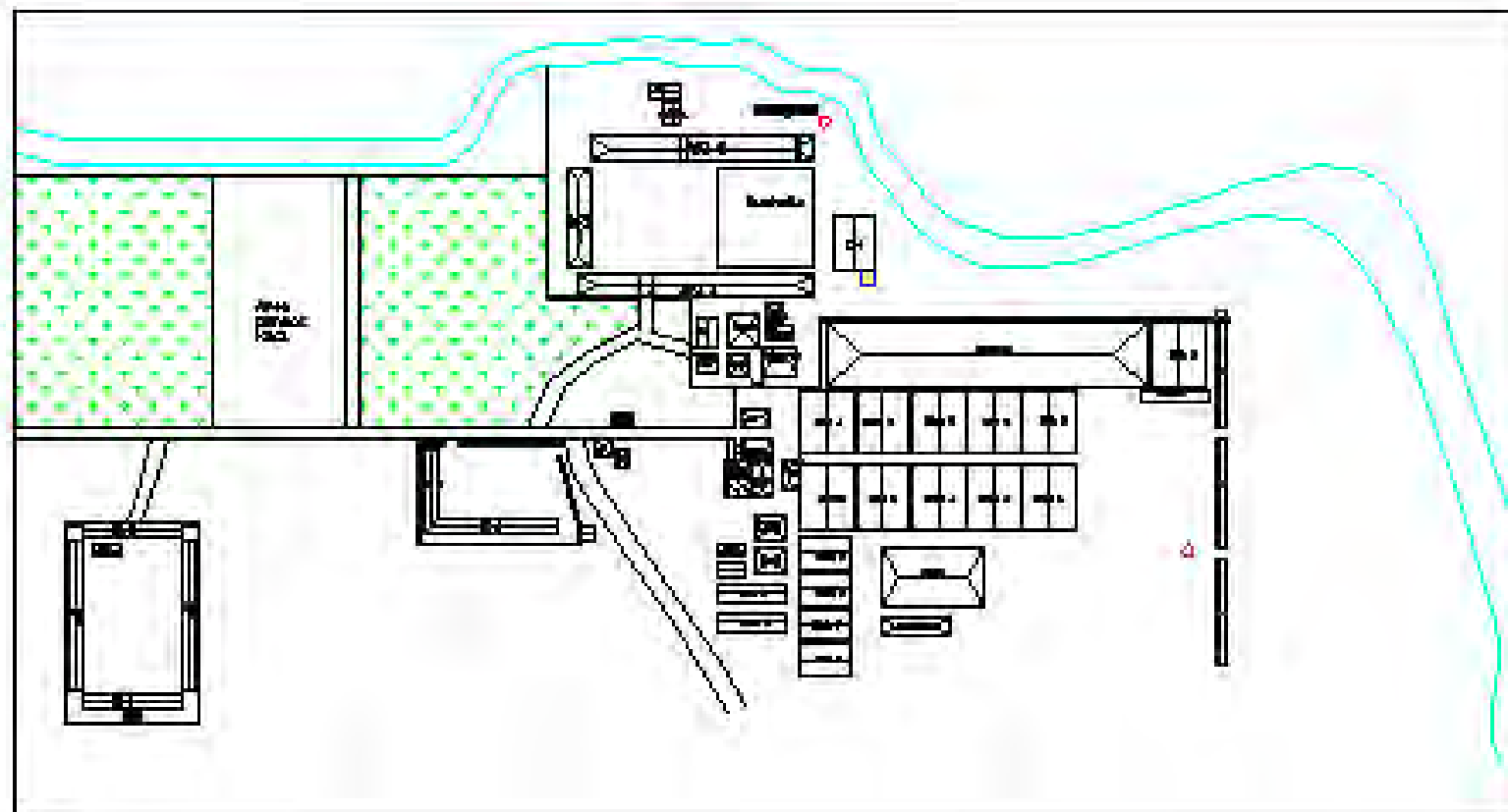
### BAKU MUTU AIR LIMBAH DOMESTIK TERSENDIRI

Parameter	Satuan	Kadar maksimum*
pH	-	6 – 9
BOD	mg/L	30
COD	mg/L	100
TSS	mg/L	30
Minyak & lemak	mg/L	5
Amoniak	mg/L	10
Total Coliform	jumlah/100mL	3000
Debit	L/orang/hari	100

Keterangan:

\*= Rumah susun, penginapan, asrama, pelayanan kesehatan, lembaga pendidikan, perkantoran, perniagaan, pasar, rumah makan, balai pertemuan, arena rekreasi, permukiman, industri, IPAL kawasan, IPAL permukiman, IPAL perkotaan, pelabuhan, bandara, stasiun kereta api, terminal dan lembaga pemasyarakatan.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



**Departemen**

Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik, IPG,  
Lingseng, dan Kalamian

**Nama Mahasiswa**

Fadilatul Haliah  
3313 100 057

**Dosen Pembimbing**

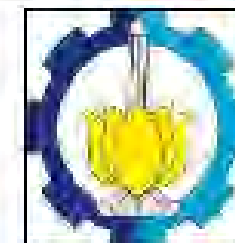
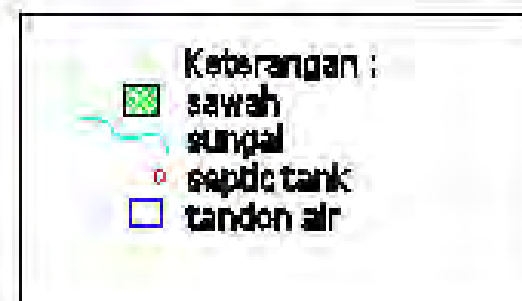
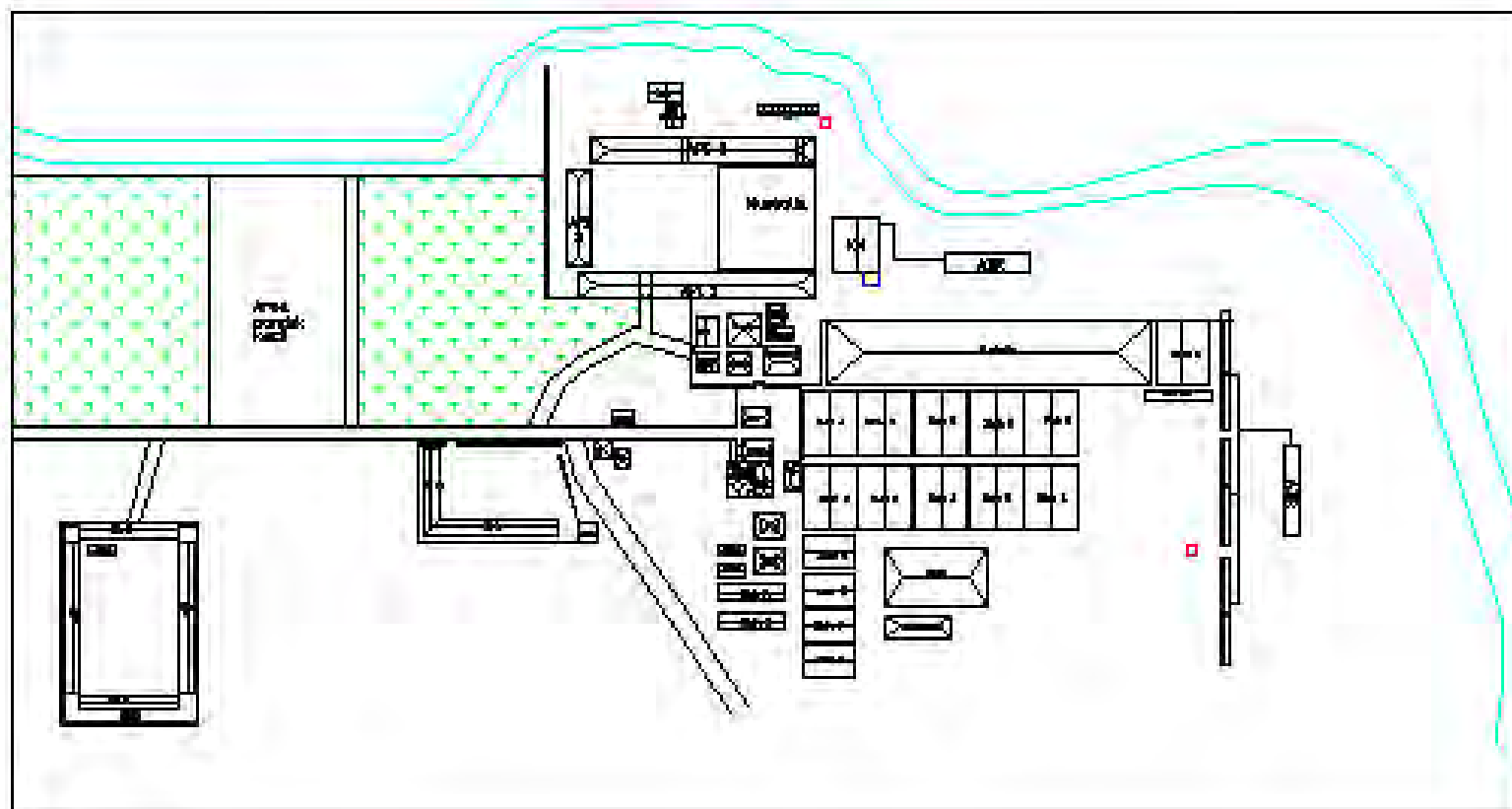
Dr. Ali Masduki, ST., MT.  
19680128 199403 1 003

**Judul Gambar**

Lay Out Eksisting  
Pondok

**Skala**

**Halaman**



**Departemen**

**Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil,  
Lingkungan, dan Kemanusiaan**

**Nama Mahasiswa**

**Fadilatul Nallah  
3313 100 097**

**Dosen Pembimbing**

**Dr. Ali Masduqi, ST, MT.  
19660126 199403 1 003**

**Judul Gambar**

**Lay Out Pondok dan  
rencana ABR**

**Skala**

**Halaman**

**2**



**Departemen**

Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil,  
Lingkungan, dan Kebumaha

**Nama Mahasiswa**

Fadilatul Hailah  
8313 100 007

**Dosen Pembimbing**

Dr. Ali Masduqi, ST, MT.  
19680128 199403 1 003

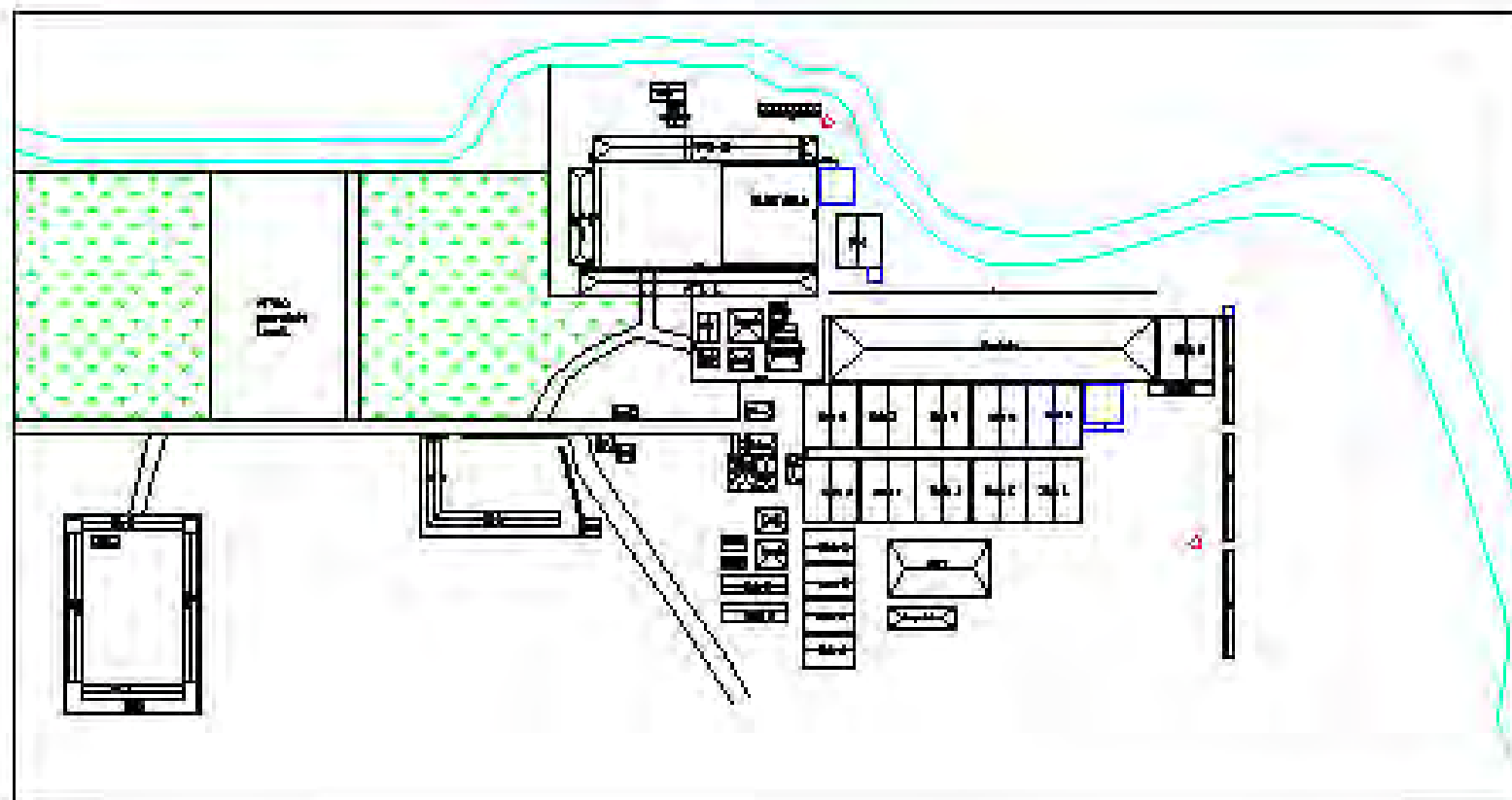
**Judul Gambar**

Lay Out Pendak dan  
rencana penampung  
air hujan

**Skala**

**Halaman**

3



**Keterangan :**



sawah



sungai



septic tank



tandon air



**Departemen**

Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil  
Lingkungan, dan Kemanusiaan

**Nama Mahasiswa**

Faridatun Halimah  
2012 100 087

**Dosen Pembimbing**

Dr. Ali Masduki, ST., MT.  
19680128 199403 1 008

**Judul Gambar**

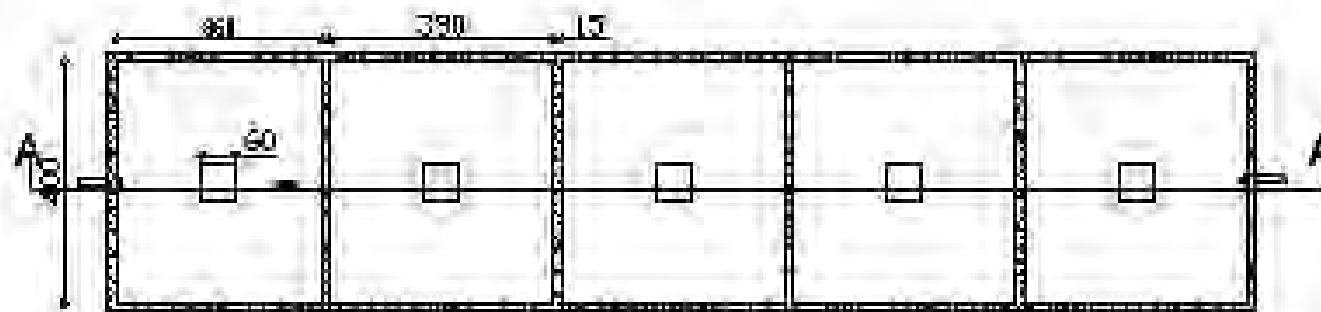
Denah dan potongan  
A-A ABR Pondok Putri

**Skala**

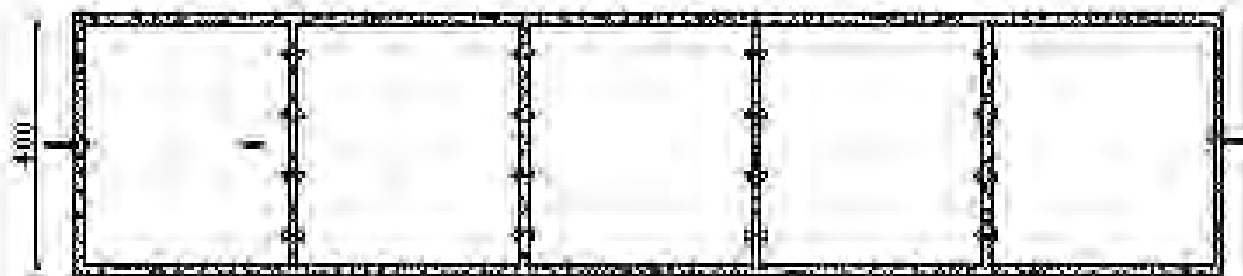
1:100

**Halaman**

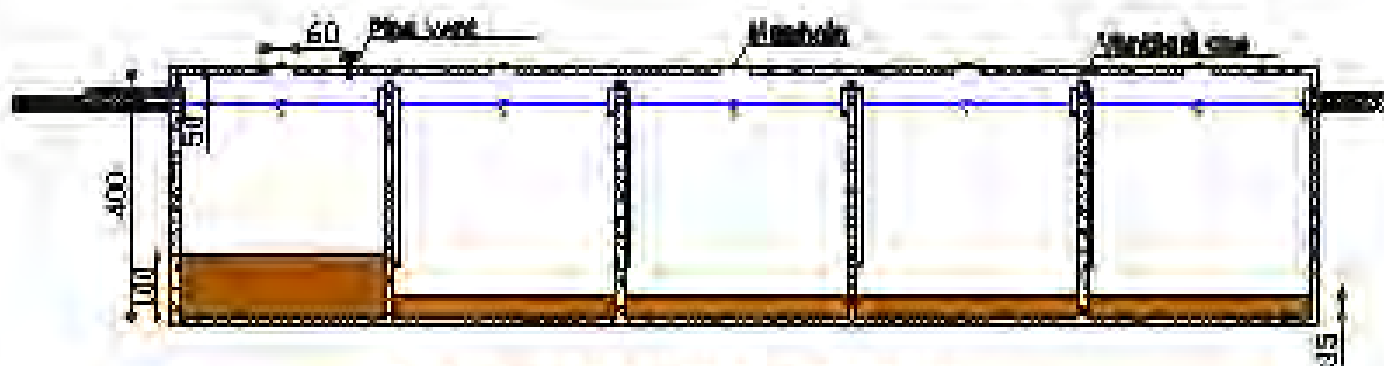
4



Denah ABR Pondok Putri dengan tutup



Denah ABR Pondok Putri tanpa tutup



Potongan A-A ABR Pondok Putri



Departemen

Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil  
Lingkungan, dan Kabinata

Nama Mahasiswa

Fadilatul Nailah  
3313 100 087

Dosen Pembimbing

Dr. Ali Masduqi, ST, MT.  
19680128 199403 1 003

Judul Gambar

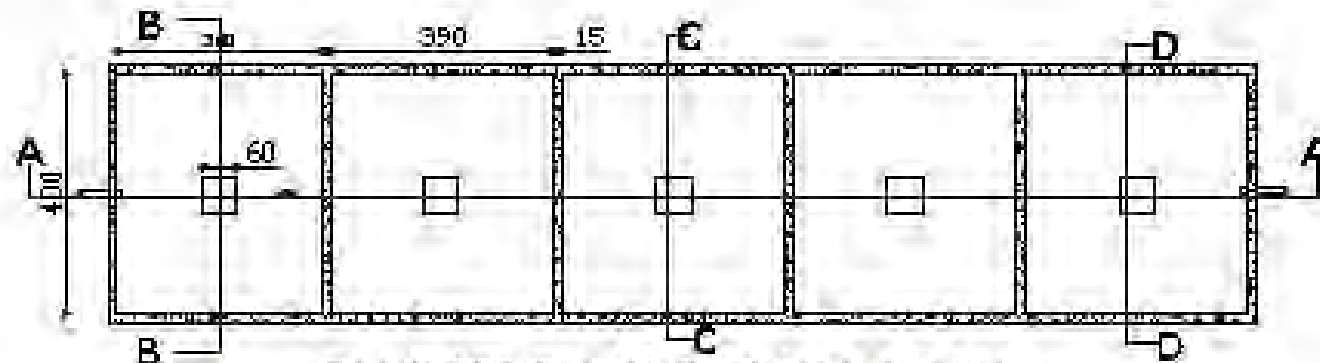
Denah dan potongan A-A,  
Potongan B-B, Potongan C-C,  
dan Potongan D-D ABR Pondok Putri

Skala

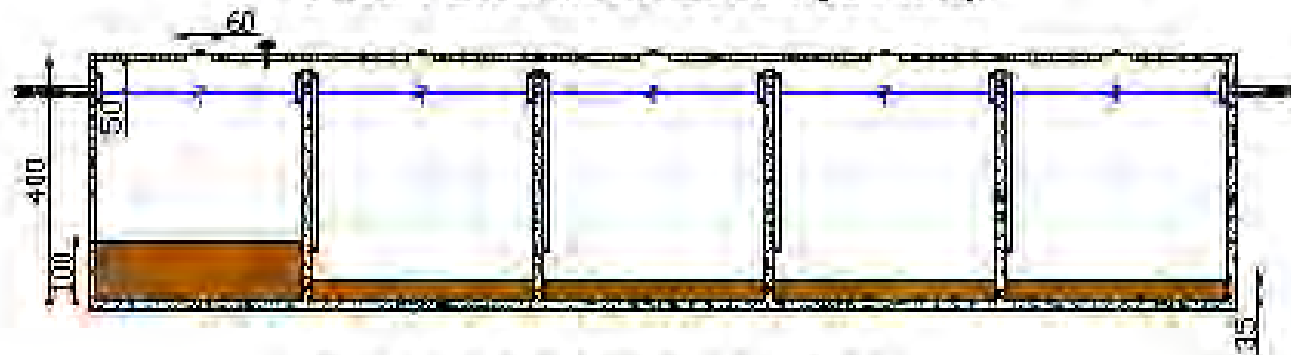
1:100

Halaman

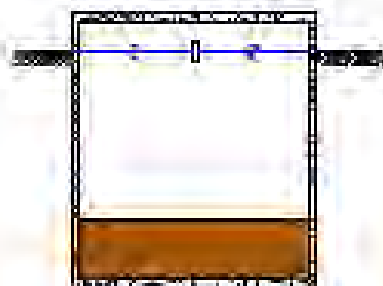
5



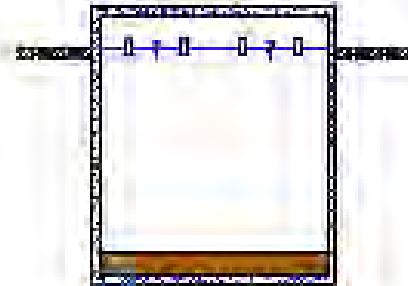
Denah ABR Pondok Putri dengan tutup



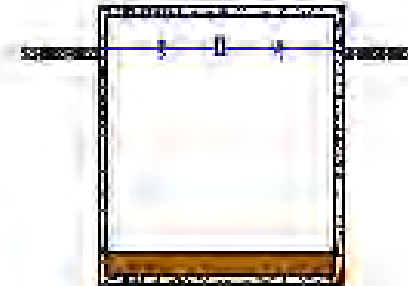
Potongan A-A ABR Pondok Putri



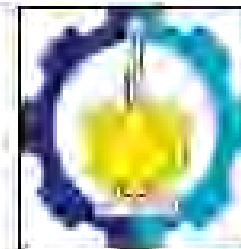
Potongan B-B  
ABR Pondok Putri



Potongan C-C  
ABR Pondok Putri



Potongan D-D  
ABR Pondok Putri



**Departemen**

Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil,  
Lingkungan, dan Keturunan

**Nama Mahasiswa**

Fadilatul Nailah  
3313 100 087

**Dosen Pembimbing**

Dr. Ali Mardudi, ST., MT.  
19680120 199403 1 003

**Judul Gambar**

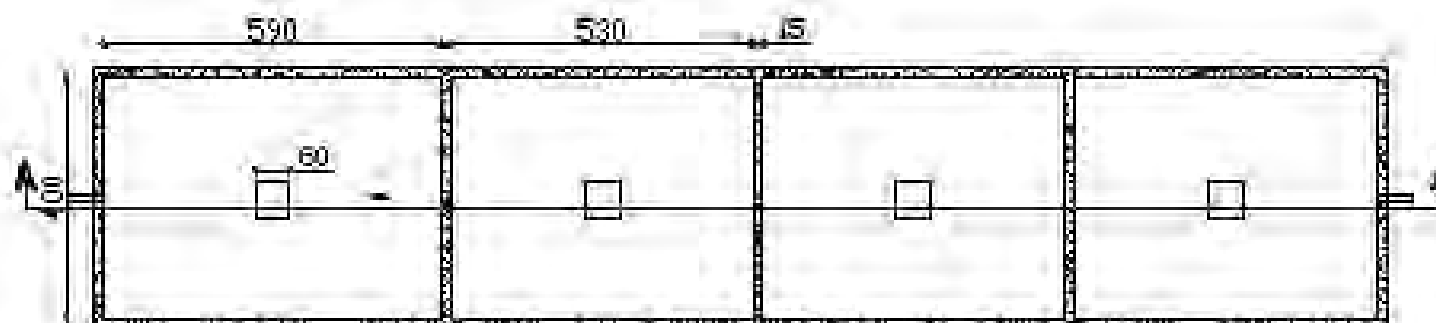
Denah dan Potongan  
A-A ABR Pondok Putra

**Skala**

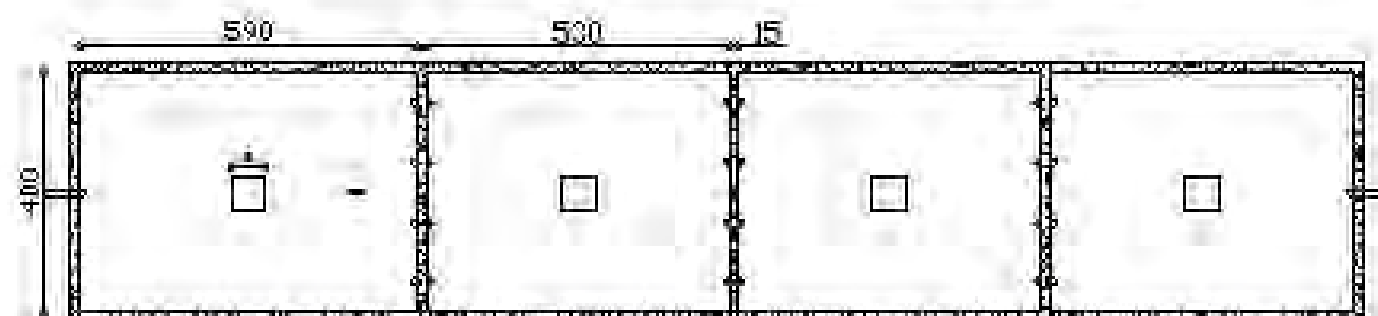
1:100

**Halaman**

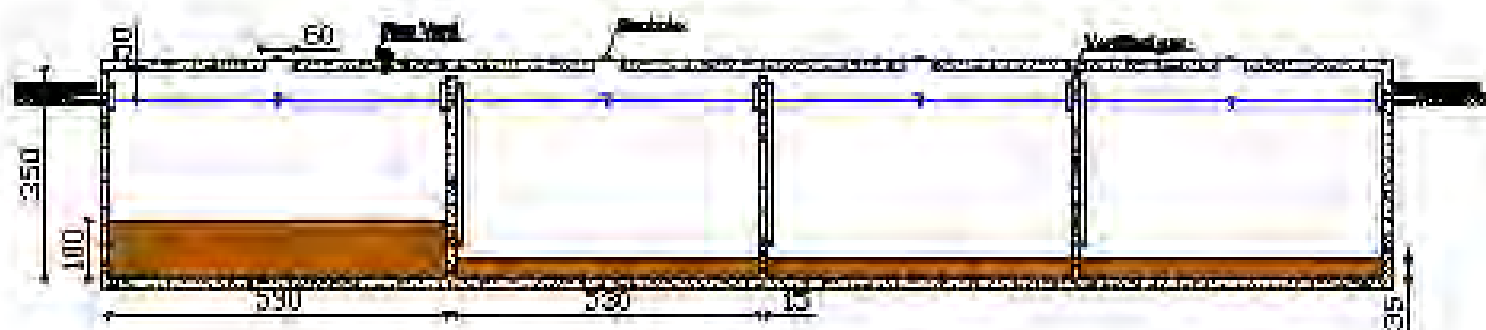
6



Denah ABR Pondok Putra dengan tutup

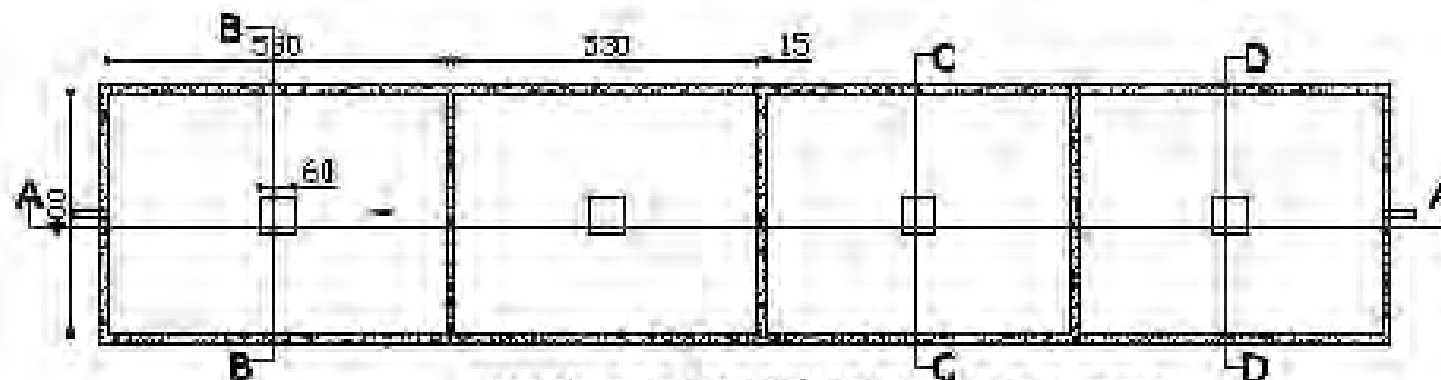


Denah ABR Pondok Putra tanpa tutup

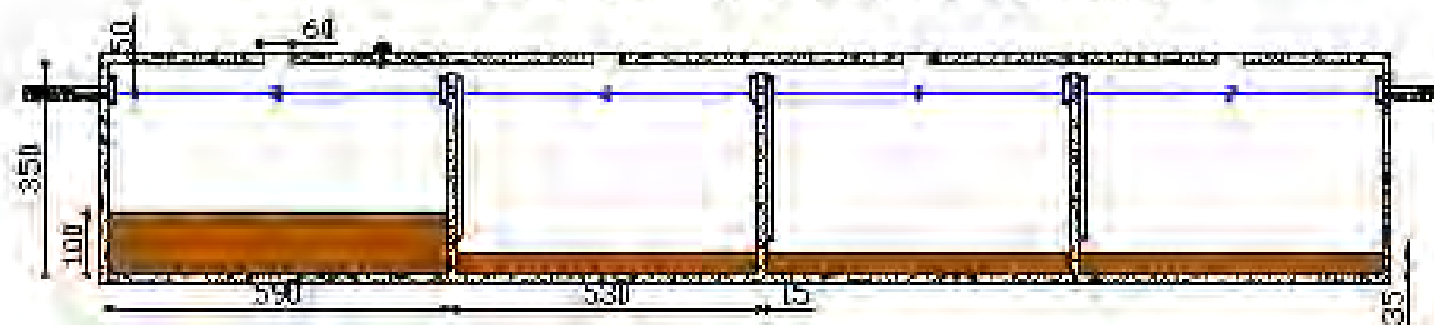


Potongan A-A ABR Pondok Putra

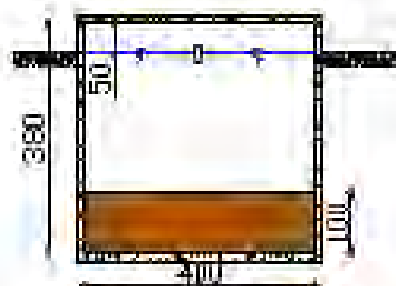




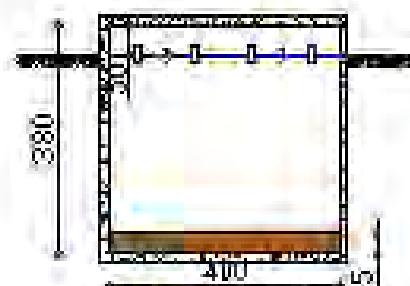
Denah ABR Pondok Putra dengan tutup



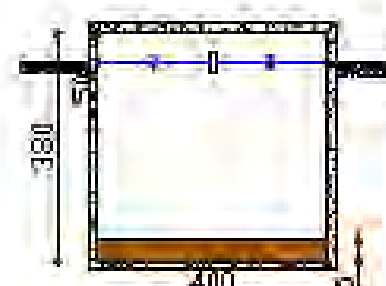
Potongan A-A ABR Pondok Putra



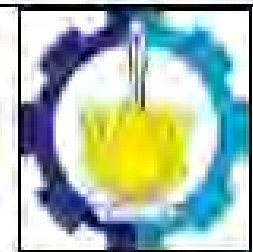
Potongan B-B  
ABR Pondok Putra



Potongan C-C  
ABR Pondok Putra



Potongan D-D  
ABR Pondok Putra



Departemen

Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil  
Lingkungan, dan Kependidikan

Nama Mahasiswa

Fadilatul Nailah  
3313 100 087

Dosen Pembimbing

Dr. Ali Maedudi, ST., MT.  
19680128 199403 1 003

Judul Gambar

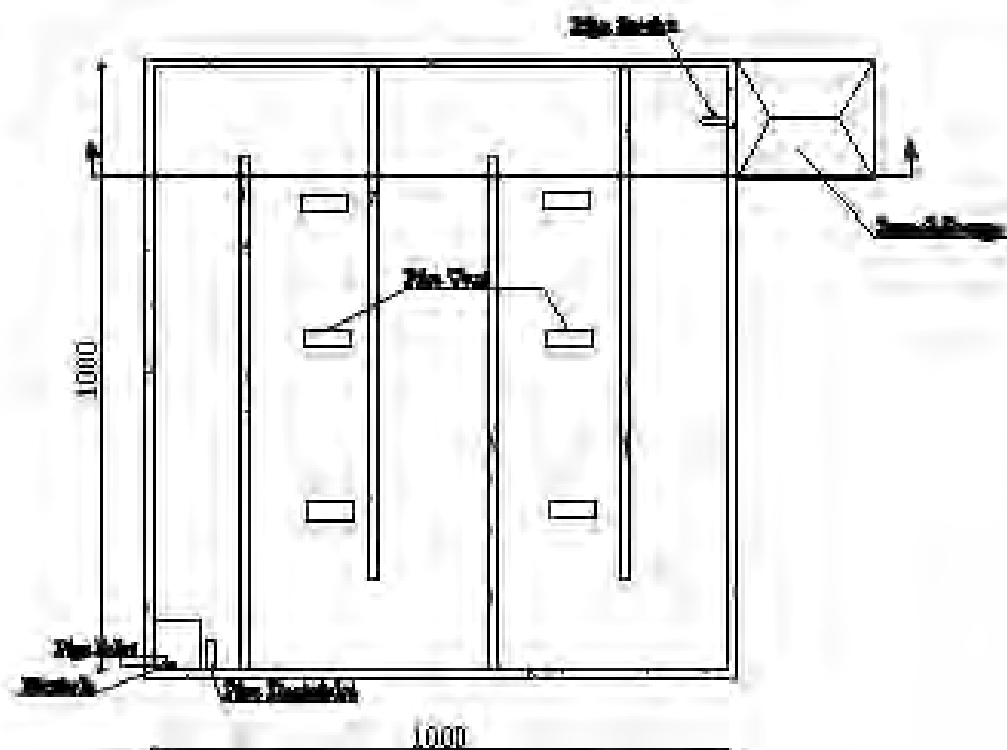
Denah potongan A-A, potongan B-B,  
potongan C-C, dan potongan D-D ABR  
Pondok Putra

Skala

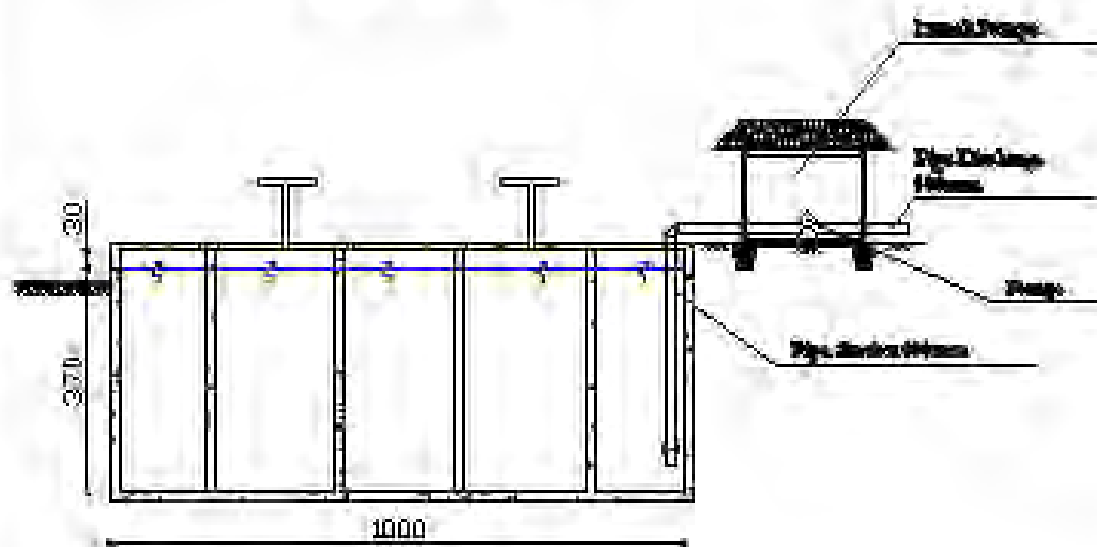
1:100

Halaman

7



**Denah Reservoir**



**Potongan A-A Reservoir**



**Departemen**

**Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil  
Lingkungan, dan Keturunan**

**Nama Mahasiswa**

**Fadliah Nallah  
3313 100 087**

**Dosen Pembimbing**

**Dr. Ali Maedudi, ST., MT.  
19680128 199403 1 003**

**Judul Gambar**

**Denah dan potongan  
reservoir Pondok**

**Skala**

**1:100**

**Halaman**

**3**



Fadlilatin Nailah lahir di Kota Pamekasan, 20 April 1995. Merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Rasa terimakasih yang tiada terkira kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini. Tugas akhir ini didasari keinginan yang kuat dari penulis untuk membantu mengatasi permasalahan yang dihadapi salah satu pondok pesantren tertua di Pamekasan, Pondok Pesantren Mambaul Ulum Bata-Bata Pamekasan.

Selain itu, salah satu tujuan terselubung pada pengerjaan tugas akhir ini adalah ingin mengenal lebih dalam terkait kehidupan pesantren, pelajaran-pelajaran yang diterima serta ingin mencari lingkungan yang positif. Sehingga berbekal ilmu yang sudah didapat penulis selama 4 tahun perkuliahan, penulis berharap dapat memberi kebermanfaatan demi kemajuan pondok pesantren.

Pada penyelesaian tugas akhir ini, penulis juga berusaha keras mempelajari materi penunjang yang belum pernah penulis pelajari di perkuliahan seperti mata kuliah plumbing dan perpipaan. Sehingga dalam laporan tugas akhir ini mungkin banyak sekali kekurangannya.

Selama 4 tahun menimba ilmu di kampus perjuangan, ITS Surabaya, penulis juga aktif di beberapa organisasi, yaitu EEEEC HMTL, AI Kaun HMTL, dan JMMI TPKE ITS. Dalam pengerjaan tugas akhir ini pun, penulis harus bolak-balik Pamekasan Surabaya untuk menyelesaikan tugas akhir dan amanah di JMMI ITS. Partisipasi penulis dalam organisasi ini diharapkan dapat mengasah *softskill* dan

menjadi bekal untuk bisa diaplikasikan di kehidupan pascakampus nantinya.

